

В.А. Веренько



**Новые материалы
в дорожном
строительстве**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.А. Веренько

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Допущено Министерством образования
Республики Беларусь в качестве учебного пособия
для слушателей системы повышения квалификации
по специальности «Автомобильные дороги»*

Минск
УП «Технопринт»
2004

УДК 625.73-192(075.8)

ББК 39.311

В 31

Рецензенты:

кафедра транспорта леса Белорусского государственного
технологического университета;
доктор технических наук Бусел А.В.

Веренько В.А.

В 31 Новые материалы в дорожном строительстве: Учеб.
пособие / В.А. Веренько. — Мн.: УП «Технопринт», 2004.
— 170 с.
ISBN 985-464-634-3

В учебном пособии рассмотрены новые материалы и технологии, используемые при строительстве дорожных покрытий. В частности асфальтобетоны на модифицированных битумах, бетоны на органогидравлических вяжущих материалах, специальные асфальтобетоны и другие. Отражены вопросы оценки их технической и экономической эффективности.

Учебное пособие предназначено для слушателей системы повышения квалификации по специальности «Автомобильные дороги» и будет полезно также студентам и аспирантам данного профиля.

УДК 625.73-192(075.8)

ББК 39.311

ISBN 985-464-634-3

© Веренько В.А., 2004

© Оформление

УП «Технопринт», 2004

ВВЕДЕНИЕ

Динамика развития автомобильного транспорта такова, что ежегодно наблюдается прирост интенсивности движения, увеличение нагрузок на ось и массы транспортных средств. Так, если в 80-е годы на дорогах Республики Беларусь доля транспортных средств с нагрузкой на ось более 10 т составляла около 5,0%, то в 90-е достигла 30%. Нагрузки на ось автопоездов достигают 13–15 тонн, а количество осей 5 и более. Произошло существенное увеличение нагрузки на городские улицы и дороги. Грузоподъемность автобусов и троллейбусов достигла 30–40 тонн, а интервал движения в часы пик в ряде микрорайонов Минска, Гомеля, Витебска составляет менее 30 секунд. Такое положение приводит к быстрому разрушению материала покрытий и дорожных одежд в целом. Межремонтные сроки службы дорожных покрытий в городах составляют 2–3 года, за городом 4–6 лет, что требует больших капитальных затрат.

Наиболее распространенным типом покрытия в Республике Беларусь является асфальтобетон. Асфальтобетон обладает рядом достоинств: возможность устройства тонких слоев, хорошая демпфирующая и ремонтоспособность, низкий уровень шума, технологичность. Однако, как и любой другой материал, асфальтобетон имеет свои пороговые параметры надежности и долговечности. Например, максимальное сопротивление сдвигу при 50 °С составляет не более 0,3–0,4 МПа, в то время как нагрузка от транспортных средств на участках торможения достигает 2,0 МПа. Циклическая долговечность составляет около 10^6 циклов, что соответствует 2–3 годам эксплуатации. Это приводит к преждевременному выходу покрытий из строя либо увеличению толщины и материалоемкости дорожных одежд. Отказ от применения асфальтобетонных покрытий и замена цементобетоном невозможны по ряду причин. Во-первых, устройство цементобетонных покрытий требует повышенных материальных затрат, поскольку толщина слоя в силу высокого соотношения модуля упругости и прочности на изгиб составляет 20–24 см. Цементобетон обладает низкой ремонтпригодностью и долговечностью в условиях интенсивного воздействия химических реагентов, которые применяются в борьбе с гололедом, особенно в городских условиях.

Сложившаяся ситуация привела к поиску путей получения новых материалов и технологий, позволяющих повысить надежность и долговечность покрытий, снизить материальные и трудовые затраты, обеспечить экологическую безопасность.

В данном пособии рассматриваются в основном материалы, используемые для устройства конструктивных слоев дорожной одежды (покрытий и оснований), которые разделены на четыре крупные группы:

1. Модифицированные дорожные битумы и бетоны на их основе;
2. Бетоны на композиционных — органо-гидравлических вяжущих (битумов и цементов);
3. Эмульсии и эмульсионно-минеральные смеси;
4. Специальные асфальтобетоны (дренирующие, противогололедные, литые, для устройства тонкослойных покрытий и т. д.).

Отдельной главой рассмотрены материалы для ремонта цементобетонных покрытий и железобетонных изделий.

Учебное пособие предназначено для слушателей факультета повышения квалификации по специальности «Автомобильные дороги» и будет полезно также студентам и аспирантам данной специальности.

1. ТЕХНИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Применение новых материалов и технологий в дорожном строительстве должно иметь под собой техническую и экономическую целесообразность. Достигается это за счет повышения срока службы элемента, в котором данный материал используется, то есть повышения надежности конструкции. Благодаря этому увеличиваются межремонтные сроки и формируется экономический эффект.

Однако проблема заключается в сложности определения уровней надежности эталона и нового материала. При оценке уровня надежности необходимо учесть весь комплекс внешних воздействий, которые испытывает материал в дорожной конструкции.

Конструкционные материалы дорожных одежд работают в сложных условиях. В летний период дорожное покрытие нагревается до температуры 50–60 °С. Это ведет к снижению вязкости битумных связей и падению прочности. В результате от действия транспортной нагрузки могут появляться пластические деформации в виде волн, колея, гребенки и т. д. При охлаждении покрытия зимой до минус 20–30 °С возникают растягивающие температурные напряжения, которые могут превысить предел прочности и вызвать разрушения в виде продольных и поперечных трещин. Циклическое воздействие транспортной нагрузки, попеременное замораживание–оттаивание вызывают дополнительное развитие повреждаемости в структуре материала и ускоряют его разрушение. На долговечность влияют также внутренние температурные напряжения, вызванные несопадением коэффициентов температурного расширения, составляющих материал. Такое положение приводит к большой сложности оценки уровня надежности, поскольку в большинстве случаев повышение сопротивления материала одному из внешних воздействий ведет к снижению сопротивления другим. Так, рост вязкости битума увеличивает сдвигоустойчивость, но снижает температурную трещиностойкость.

Поэтому необходимо учитывать одновременно влияние всех факторов внешнего воздействия, для чего должна быть разработана соответствующая методика.

Структуру материала дорожного покрытия (основания) можно считать оптимальной, если она имеет максимальную надежность по всем факторам внешнего воздействия (критерии сдвиго- и трещиностойкости, морозостойкости, усталости). Поэтому необходимо разработать

методику, учитывающую весь комплекс воздействий транспортной нагрузки и погодных-климатических факторов В основу методики положена теория надежности, позволяющая оценить частные уровни надежности по каждому критерию, и тем самым, предсказать долговечность и срок службы материала.

Для практической реализации данных положений была разработана специальная методика, основанная на определении частных уровней надежности по вышеуказанным критериям.

Сущность разработанной методики состоит в следующем.

По каждому из критериев (сдвиго- и трещиностойкости, усталости, морозостойкости) вычисляют коэффициенты запаса:

$$K_i = P_i^p / P_i^{mp} \quad (1.1)$$

где P_i^p — фактические свойства материала, ответственные за появление тех или иных деформаций;

P_i^{mp} — требуемые свойства, при которых эти деформации отсутствуют в течение первого года службы.

Для оценки коэффициента запаса из условия устойчивости к пластическим деформациям определяют угол внутреннего трения, коэффициент удельного сцепления и оценивают напряжения от расчетного автомобиля. В результате коэффициент запаса по условию сдвигоустойчивости (K_1) определяют как:

$$K_1 = \frac{c}{(s_p - k s_c \cdot g)} \cdot n \quad (1.2)$$

где C и φ — коэффициент удельного сцепления и угол внутреннего трения;

σ_p и σ_c — растягивающие и сжимающие напряжения на контакте колеса с покрытием;

n — параметр, учитывающий соотношение фактического и длительного модулей релаксации;

k — коэффициент, учитывающий несовпадение угла взаимодействия растягивающих и сжимающих напряжений.

Для определения σ_p , σ_c на ЭВМ производится расчет напряженного состояния конкретной дорожной одежды, выбирается расчетная точка с максимальным σ_p и для нее находят значения σ_c и k . Для проведения сравнительных оценок можно принять $\sigma_p = 0,5$ МПа, $\sigma_c = 1,0$ МПа, $k = 0,4-0,45$.

Параметр n находят экспериментально либо принимают равным 0,7. Здесь следует особо подчеркнуть, что при пользовании формулой (1.2) учитываются не только реологические свойства материала (параметр n), но и особенности гранулометрии (угол внутреннего трения).

Коэффициент запаса из условия температурной трещиностойкости находят из условия:

$$K_2 = \frac{0,3 \cdot R_c}{R_0}, \quad (1.3)$$

где R_c — максимальная прочность материала, реализуемая в широком диапазоне температур и времени нагружения;

R_0 — прочность при нуле градусов.

Значение \bar{R}_c определяют по формуле:

$$R_c = \frac{\bar{R}}{1 + 1,92 \lg\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}, \quad (1.4)$$

где R_1 и \bar{R}_2 — прочность на растяжение при минус 15 ° (или 0 °С), со скоростью 3 и 10 мм/мин соответственно.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2}. \quad (1.5)$$

При получении формулы (1.3) был использован тезис, что материалы с одинаковой релаксационной способностью имеют и близкую температурную трещиностойкость, что доказано в [1].

Коэффициент запаса из условия усталостной долговечности вычисляют как:

$$K_3 = \frac{R_c}{R_c^{m_p}}, \quad (1.6)$$

где $R_c^{m_p}$ — требуемое значение максимальной прочности, зависящее от категории дороги.

Коэффициент запаса по коррозионной стойкости определяют по условию:

$$K_4 = \frac{K_\psi}{\bar{K}_{m_p}}, \quad (1.7)$$

где K_{ϕ} и $K_{mр}$ — фактический и требуемый коэффициенты морозостойкости в агрессивной среде. Для условий РБ $K_{mр}$ составляет 0,7.

Кроме вышеприведенных показателей в отдельных наиболее ответственных случаях может учитываться надежность по деструкции под действием погодно-климатических факторов во времени (старение). В этом случае определяют коэффициент K_5 , представляющий собой отношение фактической степени деструкции к допустимой. Учет данного фактора позволяет также предсказывать развитие деформаций во времени. Однако, учитывая, что для определения степени деструкции требуются рентгенографические аппараты, в большинстве случаев достаточно вышеприведенных четырех критериев.

По полученным коэффициентам запаса находят частные уровни надежности (P_1, P_2, P_3, P_4).

Правильное определение уровней надежности и их взаимосвязи с коэффициентом запаса является важнейшим моментом.

Чтобы использовать значение коэффициентов запаса при оценке надежности, необходимо установить их связь с уровнем надежности, поскольку в реальной ситуации неизбежен статистический разброс.

Уровень надежности можно найти как вероятность того, что коэффициент запаса K будет меньше значения K_i , вычисленного по формуле (1.1). То есть:

$$P = \int_0^{K_i} F_k dK, \quad (1.8)$$

где F_k — функция распределения коэффициента запаса.

Таким образом, основным вопросом становится определение вида и характера функций распределения коэффициентов запаса по устойчивости материала покрытия различным видам деформаций.

Установить связь коэффициентов запаса и уровня надежности можно экспериментально путем строительства опытных участков дорожных одежд (или покрытий с различными свойствами), обладающих различными коэффициентами запаса с последующим долговременным наблюдением за развитием деформаций и определением уровня надежности по формуле (1.8). Затем полученные данные подвергаются статистической обработке, в результате получают зависимости связи коэффициентов запаса и уровня надежности.

С этой целью в 2000–2001 гг. были отобраны пробы материалов асфальтобетонных дорожных покрытий, проведены лабораторные

испытания и вычислены коэффициенты запаса по вышеуказанным четырем критериям деформационной устойчивости. В общей сложности испытано около 60 образцов асфальтобетона. Полученные данные были подвергнуты статистической обработке с целью установления вида кривой распределения.

Характеристика полученных данных представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Значения характеристик выборки.

Коэффициент запаса из условия устойчивости	Среднее значение	Средне-квадратическое отклонение	Асимметрия	Экссесс	Медиана
к пластическим деформациям (К1)	2,45	0,55	0,225	-1,062	2,325
к температурным трещинам (К2)	0,89	0,22	0,49	-0,506	0,86
к усталостным трещинам (К3)	1,1	0,13	-0,483	0,036	1,12
к коррозии (К4)	1,2	0,07	-1,48	0,99	1,25

Проверку гипотез распределения осуществляли по критерию χ^2 Пирсона. В результате было установлено:

1. Для коэффициента запаса по устойчивости к пластическим деформациям (К1) при уровне значимости $\alpha = 0,05$ приемлемой является гипотеза о логнормальном распределении с функцией распределения:

$$F_{K1}(x) = \begin{cases} 0, & X < 0 \\ \Phi\left(\frac{\ln X - a}{\sigma}\right), & X > 0 \end{cases} \quad (1.9)$$

где $\Phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-0,5t^2} dt$ — большой функционал Лапласа.

Параметр a составил 0,87; σ — 0,219. Выборочное значение статистики критерия χ^2 составило 0,393, критическое 3,84, что свидетельствует о хорошем совпадении теоретических и экспериментальных данных ($\chi_{\text{выб}}^2 < \chi_{\text{кр}}^2$).

2. Для коэффициентов запаса по условию температурной трещиностойкости также приемлемой оказалась гипотеза о логнормальном распределении с параметрами $a = -0,139$, $\sigma = 0,235$. Выборочное значение статистики критерия χ^2 составило 0,696, критическое 3,84.

3. Для коэффициентов запаса по условию усталостной трещиностойкости (КЗ) приемлемой оказалась гипотеза о нормальном распределении с функцией:

$$F_{K3}(x) = \Phi\left(\frac{x-a}{\sigma}\right) \quad (1.10)$$

и параметрами $a = 1,09$, $\sigma = 0,127$. Выборочное значение статистики критерия χ^2 составило 1,41, критическое 3,84.

4. Для коэффициентов запаса по устойчивости к коррозии (К4) приемлемой оказалась гипотеза об усеченном справа нормальном распределении с функцией:

$$F_{K4}(x) = \begin{cases} 1, & X > X_0 \\ \frac{1}{\tau} \Phi\left(\frac{x-a}{\sigma}\right), & X \leq X_0 \end{cases} \quad (1.11)$$

При этом степень усечения (τ) составила 0,88, параметры $X_0 = 1,323$, $a = 1,224$, $\sigma = 0,084$. Выборочное значение статистики критерия χ^2 составило 4,29, критическое 5,02.

Имея характеристики кривых распределения, можно перейти к оценке урона надежности как вероятности того, что реальный коэффициент запаса K_i будет меньше требуемого значения из условия деформационной устойчивости. При этом было принято, что требуемое значение соответствует модальному. В этом случае уровень надежности получали путем нахождения квантилей порядка $t_k(p)$.

Для определения уровней надежности по устойчивости к пластическим деформациям (К1) и температурным трещинам (К2) использовали зависимость:

$$t_{k1,2}(p) = e^a \cdot e^{\sigma U_p}, \quad (1.12)$$

где $U_p = \Phi^{-1}(P)$ — квантиль порядка P стандартизированного нормального распределения.

Для коэффициента запаса по устойчивости к усталостным трещинам (КЗ) квантиль распределения вычисляли по формуле:

$$t_{K3}(p) = a + \sigma U_p. \quad (1.13)$$

Для коэффициента запаса по устойчивости к коррозии (K_4) квантиль распределения получали как:

$$t_{K_4}(p) = a + \sigma \cdot U_{\tau p}, \quad (1.14)$$

где $U_{\tau p} = \Phi^{-1}(\tau \cdot p)$ — квантиль порядка $\tau \cdot p$ стандартизированного нормального распределения.

В результате проведенных расчетов были получены зависимости уровней надежности от значений коэффициентов запаса, представленные на рисунке 1.1. Анализ рисунка показывает, что в наибольшей степени уровень надежности «чувствителен» к коэффициенту запаса из условия коррозионной стойкости и в наименьшей к коэффициенту из условия устойчивости к появлению пластических деформаций. То есть увеличение показателей физико-механических свойств асфальтобетона, направленное на повышение коррозионной стойкости, наиболее заметно проявится с точки зрения повышения долговечности в эксплуатации.

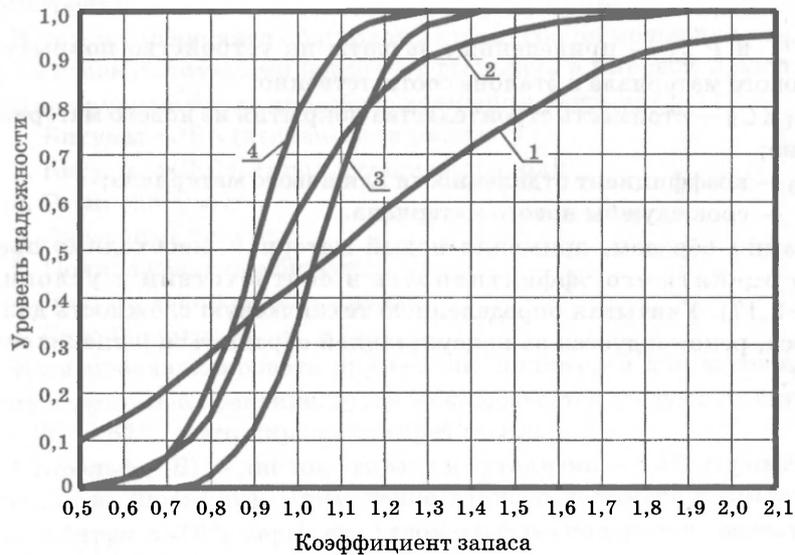


Рис.1.1. Зависимость уровня надежности от величины коэффициента запаса: 1 — из условия устойчивости к пластическим деформациям, 2 — температурным трещинам, 3 — усталостным трещинам, 4 — коррозии.

Поскольку для реального материала определяется N значений K_i , то необходимо для каждого из них вычислить P_i , а общий уровень надежности найти как произведение частных уровней:

$$P_0 = \sqrt[N]{P_1 \times P_2 \times \dots \times P_N}. \quad (1.15)$$

Таким образом, определив значение P_0 для эталона (например, асфальтобетона) и P_{01} для нового материала, можно определить продление срока службы по условию:

$$T_1 = T_0 \cdot P_{01} / P_0 \quad (1.16)$$

где T_1 — срок службы нового материала;

T_0 — срок службы эталона.

Только в случае, если T_1 больше T_0 , применение нового материала технически целесообразно.

Экономический эффект можно определить из условия:

$$\Delta = P_{np}'' - P_{gp}'' = C_2 \cdot \sum_{i=1}^{t_1} r_0 \cdot t_i - C_1 \cdot (1 + r_0 \cdot t_1) \quad (1.17)$$

где P_{np}'' и P_{gp}'' — приведенные затраты на устройство покрытия из нового материала и эталона соответственно;

C_1 и C_2 — стоимость строительства покрытия из нового материала и эталона;

r_0 — коэффициент отдаленности для нового материала;

t_1 — срок службы нового материала.

Таким образом, применяя новый материал, необходимо прежде всего оценить его эффективность в соответствии с условиями (1.16–1.17). Учитывая определенную техническую сложность данного вопроса, рекомендуется за консультацией обращаться к специалистам ВНТУ.

2. МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОЖНЫЕ БИТУМЫ И АСФАЛЬТОБЕТОН НА ИХ ОСНОВЕ

2.1. Основные положения модификации дорожных битумов

Модифицированные дорожные битумы — это битумы, содержащие различное количество добавок в виде полимеров (вещества, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев). К полимерам относят пластмассы, каучуки, резины, смолы. Высокомолекулярные полуфабрикаты, из которых получают полимеры, называются олигомерами. Модифицированные битумы отличаются рядом положительных свойств (более широкий интервал пластичности, пониженная температура хрупкости, эластичность и т. д.).

В таблице 2.1 представлены возможные модификаторы, выпускаемые в странах СНГ, и укрупненные их характеристики. Как видно из данных таблицы, имеется достаточно большая гамма модификаторов, большинство из которых изучены мало, особенно с практической точки зрения.

В целом имеющаяся обширная литература по модификации дорожных битумов полимерами позволяет выделить в мировой практике следующие крупные блоки способов улучшения битумов [2–11]:

1. Битумы +ЭВА (этилен-винил-ацетат);
2. Битумы +СБС (стирол-бутадиен-стирол);
3. Резинобитумы;
4. Латексные битумы;
5. Полиолефиновые битумы;
6. Битумы +эпоксидные смолы;
7. Серо-битумы;

Если проанализировать применение полимеров для модификации битумов в мировой практике, то здесь складывается следующая ситуация:

СБС — 61% всего мирового потребления;

Стирельф (СБ) — диблок стирола и бутадиена — 14% (применяют в основном во Франции). Применение данного полимера возможно при вводе в битум 5–10% серы, что усложняет технологию и создает экологические проблемы.

ЕВА (этилвинилацетат) — 19%. Данный полимер единственный из всей гаммы полимеров способен как и СБС создавать пространственную сетку. Однако жесткость этой сетки много выше, что неблагоприятно проявляется на хрупкости полимербитумных вяжущих.

Наименование полимерной добавки	Изменение свойств вяжущего при введении полимерной добавки			Рекомендуемое количество полимерной добавки к вяжущему	Технологические особенности при введении добавки в битум и ее свойства
	Повышение температурной устойчивости вяжущего	Повышение морозоустойчивости бетона	Повышение адгезионных свойств вяжущего		
5. НК (натуральный) импорт	+3	+3	+2	до 7-8%	Растворение удовлетворительное. Температура 180-200 °С. Возможно ускорение через масляно- или смоляные растворы.
6. СКИ (изопреновый), г. Ярославль, з-д СК	+2	+2	+1	до 7-8%	Растворение удовлетворительное. Температура 180-200 °С. Возможно ускорение через масляно- или смоляные растворы.
7. СКД (дивиниловый), Ефремов, з-д СК	+2	+4	+1	до 8%	Растворение происходит медленно. Его в основном добавляют к другим каучукам для повышения морозоустойчивости а/бетонов.
8. СКМС (стирольный масляно-полный) г. Тимертау, ПО "Карбид"	+2	+1	+2	до 5%	Растворение удовлетворительное. Однако битумно-полимерное вяжущее обладает неудовлетворительными эксплуатационными свойствами.
9. СКН (нитрильный), г. Тольятти ТПО "Синтез Каучук"	+4	+1	+3	до 5%	Растворяется удовлетворительно. Каучуки добавляют для повышения адгезионных свойств вяжущих.

Все каучуки представляют собой в основном монолитные куски массой от 25 до 40 кг, поэтому для измельчения необходимо специальное оборудование (пластинчатые ножи, грануляторы). Введение почти всех каучуков можно осуществлять через их растворы в маслах или смолах, концентрированные растворы которых готовят также на спецоборудовании (резиносмесители, вальцы, шприцмашины).

Таблица 2.1

Каталог полимерных добавок к битумным вяжущим

Наименование полимерной добавки	Изменение свойств вяжущего при введении полимерной добавки			Рекомендуемое количество полимерной добавки к вяжущему	Технологические особенности при введении добавки в битум и ее свойства
	Повышение температурной устойчивости вяжущего	Повышение морозоустойчивости бетона	Повышение адгезионных свойств вяжущего		
КАУЧУКИ					
1. СКТН (тиоколовый каучук), г. Казань, з-д СК	+2	+5	-1	до 5%	Почти не растворяется в битуме, введение требует больших энергозатрат. Часто вводят в битум через смоляные растворы, которые предварительно готовят в спецоборудовании (вальцы, гранулятор).
2. СКЭПТ (этиленпропилендиоколовый) тройной сополимер, г. Казань, з-д СК	+3	+5	+1	3-7%	До 3% растворяется в битуме. Выше необходимо вводить аналогично СКТН. В основном добавляют к другим каучукам для повышения морозоустойчивости.
3. БК бугилкаучук, г. Сумгаит, з-д СК, Химкомбинат	+3	+4	+1	до 5%	Введение в битум в основном через маслянокаучуковую стадию через шприцмашину (сложная технология).
4. Л-1 (хлоропреновый каучук), г. Ереван, НПО «Наирит»	+4	+2	+4	до 5%	Температура растворения не должна превышать 145 °С, т. к. выделяется СL ₂ , и идет обугливание каучука (деструкция). Поэтому и растворение каучука происходит медленно. В основном добавляют его к другим каучукам (полимерам) для повышения клейкости.

Наименование полимерной добавки	Изменение свойств вяжущего при введении полимерной добавки			Рекомендуемое количество полимерной добавки к вяжущему	Технологические особенности при введении добавки в битум и ее свойства
	Повышение температурной устойчивости вяжущего	Повышение морозоустойчивости бетона	Повышение адгезионных свойств вяжущего		
15. Атактический полипропилен, г. Аграл, Химзавод	+3	+2	+1	до 15%	Хорошо совмещается с битумом, придает атмосферостойкость вяжущему.
16. Хлорированный полипропилен, г. Москва, НПО "Спектр"	+4	+3	+3	до 5%	Растворение до 150 °С. Не освоен серийный выпуск продукта.
17. Полистирол, г. Омск, Химзавод	+5	-1	+1	до 10%	Растворение до 190 °С (разлагается стирол). Несколько повышает атмосферостойкость покрытия.
18. Ударопрочный полистирол (сополимер полистирола и СКД каучуком)	+4	+1	+1	до 10%	Растворение до 190 °С (разлагается стирол). Атмосферостойкость покрытия хорошая.
19. Сополимер МСН (полистирола с акрилатами)	+5	+1	+3	до 10%	Растворение до 190 °С (разлагается стирол). Как температуроповышающая добавка. Атмосферостойкость покрытия хорошая.
20. Акрилаты БМК-5, г. Дзержинск, Нижегородская обл., ПО "Акрилат"	+5	+1	+4	до 5%	Хорошая структурирующая добавка. Ограниченное применение из-за большой стоимости.

Продолжение табл.2.1

Наименование полимерной добавки	Изменение свойств вяжущего при введении полимерной добавки			Рекомендуемое количество полимерной добавки к вяжущему	Технологические особенности при введении добавки в битум и ее свойства
	Повышение температурной устойчивости вяжущего	Повышение морозоустойчивости бетона	Повышение адгезионных свойств вяжущего		
ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ					
10. Полиэтилен ПЭВД, г. Новополоцк, ПО "Полимир". ПЭНД, Охгимский НПО "Пластполимер"	+2 +3	0,5 0	0 0	до 20% до 5%	Вяжущие получают путем смешения с полимером при 200–220 °С за 1,5–2 часа. Как самостоятельная добавка применяется редко, в основном идет вместе с адгезионными и пластифицирующими добавками. Добавка увеличивает теплостойкость.
11. Атактический полиэтилен (воск), г. Новополоцк, ПО "Полимир"	+1	+1	-1	до 10%	Хорошо растворяется в битуме при нагреве. В основном применяется как пластифицирующая добавка.
12. Хлорированный полиэтилен, г. Москва, НПО "Спектр"	+3	+3	+1	до 7–8%	Растворение до 150 °С. Используется редко, т. к. не освоено серийное производство полимера.
13. Хлорсульфированный полиэтилен, г. Болград, ПО "Химпром"	+4	+4	+2	до 5%	Растворение до 150 °С. Хорошая атмосферостойкость.
14. Полипропилен. Атерал Химзавод, г. Томск, Химзавод	+5	0	0	до 3%	Вяжущие получают путем смешения с полимером при 200–220 °С за 1,5–2 часа. Как самостоятельная добавка применяется редко, в основном идет вместе с адгезионными и пластифицирующими добавками. Добавка увеличивает атмосферостойкость.

Наименование полимерной добавки	Изменение свойств вяжущего при введении полимерной добавки			Рекомендуемое количество полимерной добавки к вяжущему	Технологические особенности при введении добавки в битум и ее свойства
	Повышение температурной устойчивости вяжущего	Повышение морозостойкости бетона	Повышение адгезионных свойств вяжущего		
21. Полихлорвинил, смола ПСХ, г. Ярославль, ПО "Лакокраска"	+4	+2	+3	до 5%	Растворение др 150–160 °С (выделяется СL). Повышает атмосферостойкость, износостойкость вяжущего.
22. Сополимер А15 (сополимер винилхлорида с винилацетатом), г. Кутаиси, ПО "Поливинилацетат"	+3	-1	+1	до 5%	В основном идет как добавка для увеличения адгезионных свойств.
23. Сополимер ВХВД-40 (винилхлорида с винилденхлоридом)	+3	+3	+3	до 5%	Ограниченно применяется из-за дефицитности. Высокая морозостойкость и адгезия.
СОПОЛИМЕР СТИРОЛА И ДИВИНИЛА (РЕЗИНОПОДОБНЫЕ ПЛАСТМАССЫ)					
24. ДСТ-30, линейный. ДСТ-30Р радикальный. Дивинилстирольный термоэластопласт, г. Воронеж, з-д СК ВНИИСК. "Кратон", фирма Шелл.	+3 +4	+4 +3	0 0	до 7% до 7%	Хорошо растворяется в битуме с высоким содержанием мальтеновой части. Температура до 190 °С. Повышает теплоустойчивость, эластичность.

В основной массе пластмассы самостоятельно редко применяются, как правило, их комбинируют между собой, с каучуками; со смолами, пластификаторами, активными наполнителями и т. д.

Наименование полимерной добавки	Изменение свойств вяжущего при введении полимерной добавки			Рекомендуемое количество полимерной добавки к вяжущему	Технологические особенности при введении добавки в битум и ее свойства
	Повышение температурной устойчивости вяжущего	Повышение морозоустойчивости бетона	Повышение адгзионных свойств вяжущего		
ОЛИГОМЕРЫ					
25. Жидкий каучук СКД-1А г. Ярославль, з-д СК	+4	+3	+2	до 10%	Применяют только в вулканизированном виде. Вулканизатор MgO; ЭД-20 (со временем происходит твердение). Эффективен для холодных мастик. Имеет высокую стоимость.
26. Олигобутадиен	+4	+3	+2	до 10%	Применяют только в вулканизированном виде. Вулканизатор MgO, ЭД-20 (со временем происходит твердение).

Примечание к таблице: Относительная эффективность добавок оценена по пятибалльной шкале. Положительный балл указывает на улучшение свойств, отрицательный — на ухудшение.

Бетопласт (этиленпропиленсополимер) — 3%.

Новофлет (полиэтилен) — 3%.

Как показывает анализ таблицы 2.1 и вышеприведенные данные, имеется достаточно большое количество полимеров, улучшающих не только отдельные, но и практически все характеристики. В то же время, учитывая технологические сложности, стоимость, экологическую безопасность, удобство поставок и выпускаемые объемы, на первом этапе нами рекомендуются использовать сополимеры типа стирол-бутадиен-стирол (СБС). В отдельных случаях стирол-изопрен-стирол (СИС).

СБС — это линейные или разветвленные блочные сополимеры типа А-В-А. Наружные (концевые) блоки (А) полимерной цепи являются идентичными сегментами полистирола, имеющими стеклообразную термопластическую природу с температурой перехода в стеклообразное состояние, значительно превышающей комнатную температуру. Каучуковый средний блок (В) является эластомерным и состоит или из полибутадиена, или из полиизопрена, которые имеют температуру перехода в стеклообразное состояние много ниже комнатной температуры.

Блочный сополимер	AAAAA	BVVVVVVVVVV	AAAAA
Статический сополимер	BVAAA	BVVAVVAAAA	BVAVVA

Блочные сополимеры характеризуются тем, что в них содержатся две фазы, образующиеся в результате несовместимости полистирольных и каучуковых сегментов. Наличие таких двухфазных систем установлено двумя отдельными точками максимума перехода в стеклообразное состояние. Истинное эластическое поведение может быть реализовано, если общее содержание полистирола находится ниже 40%. Полистирольная фаза в этом случае является дискретной и состоит из мелких агрегатов, так называемых «доменов». Эти полистирольные домены, включенные в непрерывную полибутадиеновую или полиизопреновую матрицу, мелко диспергированы и имеют очень малый размер (300 А г).

Поскольку домены являются начальными или конечными пунктами сотен эластомерных цепей, то очевидно, что они играют роль, сравнимую с ролью серных поперечных связей в обычных вулканизированных каучуках. В дополнение к этому они выполняют другую важную функцию, подобную высокоусиливающему наполнителю. В то время как доменные образования полистирольных сегментов приводят к высокой прочности, непрерывная каучуковая фаза полибутадиена обеспечивает истинно каучукоподобное поведение с высокой эластичностью, низкий модуль и отличные низкотемпературные свойства (таблица 2.2).

Вид и состав полимера	Прочность на разрыв, кг/см ²
Полибутадиен исходный не вулканизированный	3–5
Полибутадиен + сера вулканизированный	30–50
Полибутадиен + сера + сажа вулканизированный	150–200
Термопластичный каучук не вулканизированный	300–350

Когда температура возрастает выше точки стеклообразного перехода полистирола, домены будут размягчаться. Так как концевые блоки оказываются нефиксированными в одном конкретном домене, материал показывает истинно термопластическую природу и течет под усилием сдвига при переработке в диапазоне температур 140–220 °С. Процесс полностью обратим, и после охлаждения домены восстанавливаются. На этом основано повторное использование полимеров.

Путем изменения веса блоков и количества диблоков А–В, соединенных в конечную молекулу, могут быть получены термопластичные

каучуки с заданными свойствами, пригодными для применения в определенных областях. Однако как по экономическим, так и по техническим причинам предпочтительнее ограничить число выпускаемых базовых полимеров и компаундировать их с другими ингредиентами, такими как полимеры, наполнители, пластификаторы и смолы.

Основной особенностью сополимеров по влиянию на битум является появление полистирольной сетки после растворения бутадиена (изопрена). Данная сетка повышает качество, эластичность и вязкость битума, что в комплексе способствует улучшающему эффекту.

Сополимеры производятся двумя основными поставщиками: фирмой «Шелл» и Воронежским ОАО «Воронежсинтезкаучук».

Продукты, производимые данными фирмами близки по технологии, составу и свойствам. Их эффективность для модификации битумов представлена в табл. 2.3. Однако при выборе продукта следует учитывать следующее:

1. Содержание стирола не должно превышать 40% ;
2. Степень «сшивки» макрокапсул бутадиена должна быть максимальной (более 80%).

Если данный показатель не выполняется, получить полистирольную сетку можно только при повышенном количестве полимера.

Выявить данные показатели можно только в первоклассных химических лабораториях, поскольку методы рентгеновского анализа и ИК-спектроскопии не позволяют их оценить (имея различную молекулярную массу полистирола, получают идентичные спектры).

Учитывая данную ситуацию, предпочтение следует отдавать надежному поставщику, гарантирующему качество и полный технологический контроль на стадии производства.

Таблица 2.3

Виды сополимеров и их выходные характеристики

Наименование продукта	Производитель	Адрес	Краткая характеристика продукта
Кратон Д 1101 CS	Фирма ШЕЛЛ	PO BOX 38000 1030 BN AMSTERDAM NETHERLANDS TEL. (31) 206302698 / Москва (121069) Трубниковский пер., 30а, тел. (095) 2586900	Опудренные пористые гранулы с содержанием стирола 31% могут использоваться как для модификации битумов, так и для производства эмульсий. Недостаток: повышенные энергозатраты при растворении.

Наименование продукта	Производитель	Адрес	Краткая характеристика продукта
Кратон Д 1101 СМ			Опудренный порошок. В своем составе содержит до 10% пудры SiO ₂ . Продукт быстро растворим и особенно эффективен для модификации битумов при повышенном содержании полимера. В связи с повышенным содержанием SiO ₂ возможны затруднения при приготовлении битумных модифицированных эмульсий.
Кратон Д TR 41135 (TR 4113M)			Маслонаполненные полимеры (в гранулах и порошке). Содержат до 30% высококачественных нафтяных масел. Способны быстрее растворяться в битуме и одновременно улучшать реологические свойства битумов. Однако применяемые масла имеют очень высокую стоимость (полимеры используются в обувной промышленности), что сводит на нет их преимущество.
ДСТ 30-01 (гранулы и порошок)	Россия ОАО "Воронеж-синтезкаучук"	394014, г. Воронеж, Ленинский пр т, 2, тел 49-22-46	Выпускается в виде крошки и порошка (по желанию заказчика). По влиянию на битумы близок к Кратону Д. Однако в связи с большим молекулярным весом стирола и меньшей степенью "сшивки" цепей бутадиена уступает по стабильности и эластичности.

Учитывая приведенные данные на этапе освоения выпуска модифицированных вяжущих и эмульсий, можно рекомендовать Кратон Д 1101 СМ.

Следует иметь в виду, что сведений о влиянии полимеров на свойства а/бетонных смесей в условиях, близких к Белоруссии, мало. Большинство исследователей отмечают повышение устойчивости при высоких температурах и сопротивление усталости. Что касается трещино- и морозостойкости, то сведения здесь довольно противоречивы.

В то же время применение блок-сополимеров имеет и негативные тенденции. Прежде всего это относится к длительным процессам растворения диена и повышению технологической вязкости. Это в свою очередь требует увеличения температуры выпуска смеси.

Негативным моментом является и снижение адгезии битума к гранитному щебню (табл. 2.4).

Таблица 2.4.

Степень адгезии битума

Количество полимера, %	Степень адгезии по Виалиту
0	77
3% ДСТ	70
3% Кратон	80
5% ДСТ	80
5% Кратон	81

Как видно из данных таблицы, адгезия возрастает незначительно, а иногда и снижается, особенно при небольшом количестве полимера.

Дело в том, что при растворении бутадиена активные группы битума «оседают» на макромолекулах полимера и битум теряет свою активность.

В последнее время на рынках СНГ появился новый модификатор, представляющий собой термопласт под торговой маркой «Элвалой АМ». Отличие данного продукта от традиционных термопластов состоит в протекании реакции между асфальтенами битума и активными группами полимера. В результате возникает пространственная сетка, подобная сетке, создаваемой термоэластопластами. Это приводит к наличию у модифицированных битумов эластичности и повышенной когезионной прочности. Количество вводимого полимера составляет 1,5–3%. В целом механизм действия полимера близок к действию EVA, но отмечается более высокая устойчивость против расслоения. Готовят модифицированные битумы при температуре 180–190 °С в течение 20–30 минут.

По данным В. А. Золотарева, отличительной особенностью полимера Элвалой АМ является наличие эластичности и сохранение температуры хрупкости после старения. Стандартные показатели свойств битума изменяются аналогично показателям свойств под действием других термопластов (например EVA): понижается пенетрация при 25 °С, растяжимость, растет температура размягчения и интервал пластичности. В то же время пенетрация при 0 °С практически не меняется. Асфальтобетон на основе битума с добавкой Элвалой АМ обладает повышенной прочностью при высокой температуре, водостойкостью и термостабильностью. Отмечается также некоторое улучшение технологических свойств.

В то же время высокая стоимость Элвалой АМ (около 5000 долларов за 1 тонну) не позволяет считать его наиболее приемлемым модификатором.

Таким образом, в настоящее время для модификации дорожных битумов используют в основном сополимеры типа стирол-бутадиен-стирол (СБС). Однако эффективность их применения в дорожном строительстве носит довольно противоречивый характер и требует дополнительно анализа, особенно в условиях РБ. Кроме того следует учитывать, что стоимость СБС достигает 4,5 тысячи долларов США за 1 тонну. Это приводит к увеличению стоимости 1 тонны битума в 2–3 раза. Поэтому необходимо иметь четкие доказательства увеличения надежности и долговечности асфальтобетона на модифицированных вяжущих. Актуален также вопрос разработки мероприятий по снижению расхода СБС в битуме, а также замены его местным (белорусским) сырьем.

2.2. Техническая эффективность применения модифицированных битумов для улучшения качества асфальтобетона

В Республике Беларусь начиная с 1996 г. ведутся опытно-промышленные работы по применению модифицированных вяжущих. Подобные битумы использовались при строительстве дороги М–1 и ряда улиц г. Минска. В качестве модификатора использовали сополимеры типа стирол-бутадиен стирол (СБС), поставляемые фирмой «Шелл» под торговой маркой Кратон–1101СS. При строительстве дороги М–1 добавка СБС в битуме составляла 3%, при строительстве улиц — 5%.

Наблюдения за построенными участками показали, что в ряде случаев заметного эффекта от применения модифицированных битумов в асфальтобетоне не обнаруживается. Наблюдается наличие температурных трещин, коррозионных дефектов практически в том же объеме, как и у обычного асфальтобетона. Поскольку существенных технологических нарушений не было, возникла необходимость провести детальный анализ модифицированных СБС битумов и асфальтобетонов.

Были изготовлены модельные вяжущие с одинаковой пенетрацией и различным количеством полимера (таблица 2.5).

Таблица 2.5

Физико-механические свойства модифицированных вяжущих

Состав вяжущего, %		Физико-механические показатели вяжущего				
Битум+пластификатор	Кратон (СБС)	Пенетрация при 25 °С	Температ. размягч. по КиШ	Эластичность при 25 °С, %	Сцепление со щебнем при 0 °С, %	Температура хрупкости
100	0	70	48	12	0	–17
97	3	71	54	15	12	–20
95	5	70	63	26	85	–35

Анализ данных таблицы свидетельствует о бесспорном влиянии полимера на свойства вяжущего, особенно при его содержании — 5%.

На приведенных составах вяжущих были изготовлены образцы асфальтобетона следующего состава:

щебень фракции 5–10 мм	45%
гранитный отсев	25%
песок природный	25%
минеральный порошок	5%
битум (сверх 100%)	5,7%

Оценку качества асфальтобетона производили путем определения комплексного показателя — уровня надежности (P_0), отражающего устойчивость материала к образованию трещин (P_1), температурной трещиностойкости (P_2), усталостной долговечности (P_3) и морозостойкости (P_4). Основные подходы данной методики изложены в разделе 1. Результаты представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6.

Показатели надежности асфальтобетонных смесей на модифицированных битумах

№ № битумов по табл. 2.5	Частные уровни надежности				Общий уровень надежности $P_0 = \sqrt{P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4}$
	P_1	P_2	P_3	P_4	
1	0,72	0,72	0,73	0,42	0,63
2	0,76	0,68	0,72	0,5	0,66
3	0,78	0,8	0,72	0,6	0,73

Анализ приведенных данных свидетельствует, что несмотря на значительные отличия в свойствах вяжущих, заметных отличий в надежности асфальтобетона не обнаружено.

Такая ситуация потребовала обратить внимание на 2 аспекта при вводе полимера в битум:

1. Количественный;
2. Качественный.

Количественный аспект отражает тот факт, что эффект от ввода модификатора будет проявляться только при определенном его количестве.

Бесспорно, что количество полимера должно быть таким, чтобы в объеме вяжущего возник стирольный каркас. То есть, домены стирола должны образовать между собой непрерывный мостик. Для решения данной задачи целесообразно привлечь теорию перколяции [12],

согласно которой объемная доля вещества для образования структуры должна составлять не менее 16%. Следовательно, объемная доля стирола в БПВ должна быть не менее 0,16 долей (16%).

Выполнение данного условия для БПВ может быть достигнуто если:

$$c_1 \cdot m \cdot \frac{P_{cm}}{P_n} \cdot k = c \quad (2.1)$$

где c_1 — удельное количество стирола в объеме сополимера;

m — массовая доля сополимера введенного в битум;

P_n — плотность сополимера;

P_{cm} — плотность стирола;

k — коэффициент, учитывающий увеличение объема сополимера в мальтеновой среде;

c — пороговая концентрация, равная 0,16.

Формула 2.1 позволяет вычислить минимальную массовую долю полимера, введенного в битум для образования перколяционного каркаса.

По данным исследований фирмы Шелл, коэффициент k можно принять равным 9 [13].

Тогда для Кратона 1101 CS

$$m = \frac{c \cdot P_n}{c_1 \cdot P_{cm} \cdot k} = \frac{0,16 \cdot 0,94}{0,31 \cdot 0,18 \cdot 9} = 0,049 = 5\% (2.2),$$

Таким образом, минимальное количество вводимого полимера должно составлять около 5% по массе.

То есть, при таком объеме полимера можно говорить о создании структуры полимера в битуме и о его существенной модификации. Безусловно эффект от ввода полимера будет проявляться и при меньших количествах. Однако только при данном объеме существенно изменятся все свойства в том числе и температурная трещиностойкость. Такое положение соответствует экспериментальным результатам [13].

В то же время количественный фактор не отвечает на вопрос недостаточного эффекта от применения модифицированного битума в асфальтобетоне даже при содержании полимера 5% (табл. 2.6). Здесь уже существенную роль оказывает качественный фактор.

Битумополимерные вяжущие на основе сополимеров (СБС) типа Кратона — это двухфазные системы, образованные средой битума и нерастворимым в ней стиролом.

Поведение двухфазной системы на твердой подложке (в асфальтобетоне) будет иметь существенные отличия от поведения самого вяжущего

щего. Обусловлено это тем, что макромолекулы стирола, обладая более высокой энергией, будут адсорбироваться на твердой поверхности в первую очередь.

Адсорбированные макромолекулы претерпевают конформацию, что ведет к изменению подвижности. Чем выше энергия адсорбции, тем меньше длина петли и больше доля связанных сегментов. Следовательно, можно полагать, что на крупных частицах асфальтобетонных смесей молекулы стирола будут сохранять достаточную гибкость и подвижность. На мелких же частицах может произойти потеря молекулярной подвижности, а следовательно, и потеря модифицирующего эффекта полимербитумного вяжущего. Таким образом, должна существовать минимальная толщина битумной пленки при которой заметен эффект модификации. Если толщина пленки, окажется меньше оптимальной, эффект от модификации может исчезнуть.

С целью проверки данных положений были изготовлены модельные смеси с известной толщиной пленки. В качестве вяжущего использовали обычный битум и битум с добавкой 5% Кратона (с пластификаторами и без).

Образцы испытывали на прочность в диапазоне температур плюс 50, минус 30 °С.

Оценивали также значения индекса трещинообразования и сопротивления усталости по показателю предельной структурной прочности (см. раздел 1).

Установлено, что при высоких температурах эффект прироста прочности за счет модификации заметен при любой толщине пленки. Однако при толщине менее 8 мкм он становится малозначимым.

При смещении в область отрицательных температур эффект от модификации по прочности, усталости, трещиностойкости (чем выше индекс, тем больше вероятность появления трещин) заметен при толщине пленки более 10 мкм (рис. 2.1, 2.2). Характерно, что в области низких температур ввод СБС без пластификатора практически не дает эффекта как по усталости, так и трещиностойкости (рис. 2.3).

Следовательно, при подборе составов асфальтобетонов модифицированных эластомерами битума, средняя толщина битумной пленки должна быть не ниже 10 мкм. На практике это требует увеличения содержания щебня и снижения на 30–40% минерального порошка. Расход битума по сравнению с обычным асфальтобетоном следует увеличить на 10–15%. Учитывая подобную ситуацию, были подобраны составы со средней толщиной битумной пленки более 10 мкм, представленные в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Состав и свойства асфальтобетона

№ состава	Состав	Показатели			
		R_{50} , МПа	R_0 , МПа	R_c , МПа	$K_{\text{мрз}}^{50}$
1 (эталон)	Щебень гранитный 5–10 мм 60% Гран. отсеv 10% Песок 28% МП 2% Битум 6,25%	1,3	1,37	4,25	0,53
2	То же Битум+3,5% СБС+ 4% гудрона	1,4	1,38	4,65	0,86
3	То же БНД 60/90 + 5% СБС + 10% гудрона	1,63	1,52	6,4	0,93

Примечание: R_{50} — прочность на сжатие при 50 °С;

R_0 — прочность на раскалывание при 0 °С и скорости деформации 3 мм/мин;

R_c — предельная структурная (максимальная) прочность;

$K_{\text{мрз}}^{50}$ — коэффициент морозостойкости после 50 циклов.

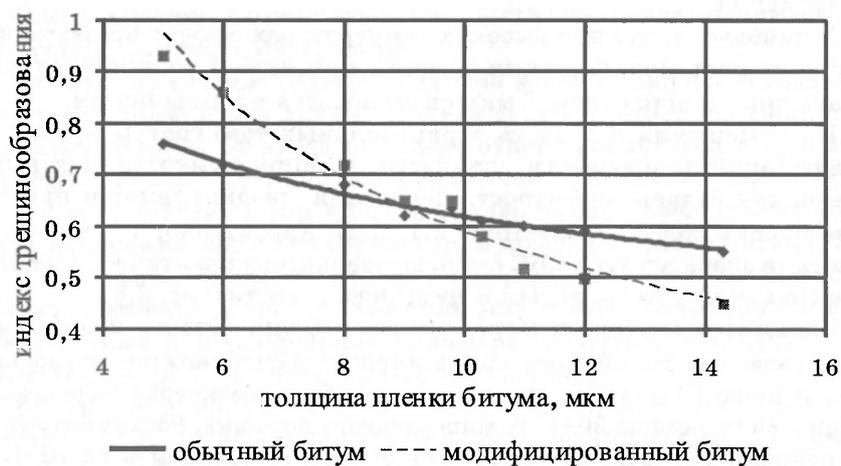
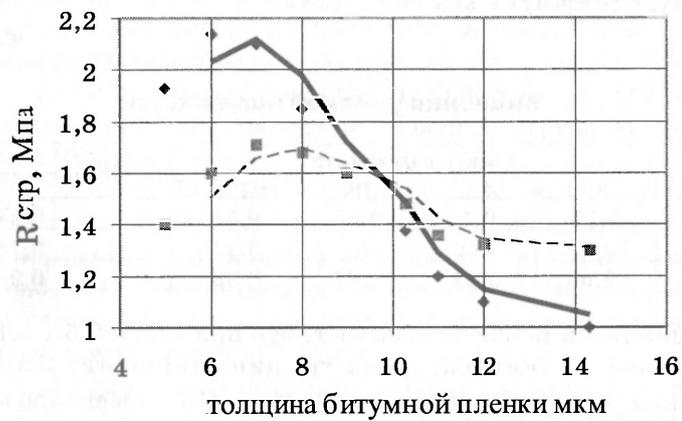


Рис. 2.1. Зависимость предельной структурной прочности от толщины битумной пленки



— обычный битум
 ---- модифицированный битум (5% СБС + 10% гудрона)

Рис. 2.2. Зависимость предельной структурной прочности от толщины битумной пленки



— обычный битум
 ---- битум + 5% СБС (без пластификатора)

Рис. 2.3. Зависимость индекса трещинообразования от толщины битумной пленки

Оценка надежности асфальтобетона по предлагаемой методике дала следующие результаты (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Значения уровней надежности

№ состава по табл. 2.7	Уровни надежности				Итоговое значение
	P1	P2	P3	P4	
1	0,55	0,5	0,55	0,55	0,54
2	0,7	0,55	0,7	0,97	0,71
3	0,9	0,92	0,97	0,98	0,94

Анализ таблицы 2.8 показывает, что при вводе 3,5% СБС эффект незначителен по температурной трещиностойкости. В целом срок службы при этом увеличится на 20–30%. При проектировании оптимальных составов из условия выполнения требований по толщине битумной пленки (более 10 мкм) увеличение срока службы составит около 60%.

Таким образом, приведенный анализ показывает:

1. Появление эффекта от ввода полимеров типа СБС в битум не гарантирует повышение надежности и долговечности асфальтобетона;
2. Для повышения долговечности асфальтобетона количество вводимого в битум СБС (с пластификатором) должно составлять не менее 5%, а средняя толщина битумной пленки должна составлять не менее 10 мкм.
3. На практике данное положение реализуется путем применения многощебенистых бетонов с повышенным расходом битума и минимальным содержанием пылеватой фракции.
4. При сравнении эффективности ввода любых полимерных добавок в асфальтобетоне необходимо определять итоговый его уровень надежности на эквивалентных вяжущих (одинаковой пенетрации).

2.3. Мероприятия по снижению расхода сополимеров в битуме

Основным недостатком СБС является высокая стоимость (при 5%-ной добавке СБС стоимость битума увеличивается в 2 раза). Поэтому сокращение расхода СБС или замена его на более дешевые модификаторы является актуальной задачей. Снизить расход сополимера без изменения количества модифицированного битума возможно двумя принципиальными путями:

1. Применение смесей полимеров, один из которых обладает достаточно низкой стоимостью.

2. Применение сополимеров, способных образовывать пространственную сетку при меньшей концентрации за счет взаимодействия его активных групп с активными компонентами битума, или ввод в состав битума компонента, способного взаимодействовать со структурообразующей фазой сополимера, образу «зародыши» пространственной сетки.

Рассмотрим как более простой и имеющий перспективы реализации условиях РБ первый путь.

Сополимеры типа СБС в битуме одновременно выполняют две функции — повышают температуру размягчения и снижают температуру хрупкости. Эффективно выполнить одну из этих функций могут и другие полимеры, более доступные и менее дорогостоящие. В условиях РБ таким полимером является полиэтилен высокого давления, выпускаемый Новополоцким заводом «Полимир».

Применяя одновременно два полимера, мы получаем их смесь. Если полимеры не взаимодействуют между собой, то свойства смесей описываются соотношением:

$$P_c = P_1 n_1 + P_2 n_2, \quad (2.3)$$

где P_1 и P_2 — свойства отдельных полимеров;

n_1 и n_2 — объемные доли каждого полимера в смеси.

Температура хрупкости (по Фраасу) СБС -60°C , а полиэтилена — -20°C . Даже по правилу смесей (отсутствует взаимодействие) для соотношения 1:1 мы получим температуру хрупкости около -40°C , что вполне достаточно для климатических условий Белоруссии.

Вязкость же раствора полимеров СБС и ПЭ близка и составляет около 1–2 Па.с. Следовательно, с точки зрения технологической совместимости и влияния на температуру размягчения, они близки между собой.

В то же время эффект от совмещения различных полимеров на практике будет значительно выше, чем ожидаемый, исходя из правила смесей.

Дело в том, что системы полимер–полимер практически несовместимы с термодинамической точки зрения, поэтому в растворах образуются две фазы, взаимодействующие друг с другом через межфазный переходный слой. Именно появление межфазных слоев приводит к особым свойствам в смесях полимеров.

В работе [14] приведены результаты исследований релаксационных процессов в граничном слое на поверхности полимера.

Для этого были измерены времена спин-решетчатой релаксации и угла диэлектрических потерь в поверхностных слоях акрилатноэпок-

сидностирольной композиции (сополимер), а также эпоксидной смолы, нанесенной на сополимер стирола с метакрилатом (смесь). Оказалось, что композиция характеризуется большей подвижностью сегментов, чем сополимер (процесс релаксации для композиции проявляется при 74 °С, а для сополимера при 130 °С). То есть в системах полимер-полимер гибкий полимер становится более жестким, в то время как более жесткий размягчается.

Следовательно, смесь полимеров практически всегда будет иметь отклонения в свойствах от зависимости (2.3). Можно полагать, что за счет межфазного взаимодействия свойства смесей можно описывать следующей формулой:

$$P_c = P(n_1)^m + P_2(n_2)^k, \quad (2.4)$$

где m и k — показатели, отражающие влияние межфазных переходных зон.

Таким образом, можно полагать, что используя полиэтилен и другие полимеры, удастся получить битумные смеси с улучшенными свойствами.

Экспериментальные исследования были выполнены на битумах различных составов при разном содержании добавок полимеров. При этом битумы готовили таким образом, чтобы они имели одинаковую вязкость. Это позволило исключить ошибку, связанную с учетом реологических особенностей битумов. Результаты эксперимента приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Физико-механические свойства вяжущих

Состав модифицированного вяжущего, %			Физико-механические показатели модифицированного вяжущего			
Битум + пластификатор	Кратон (СБС)	Полиэтилен высокого давления	Пенетрация при 25 °С, градус	Температура размягчения по КИШ	Эластичность при 25 °С, %	Сцепление щебня при 0 °С, %
100	0	0	72	48	12	0
95	5	0	70	65	24	85
95	2	3	71	62	22	67
94	2	4	68	59	32	86

Анализ данных таблицы показывает, что вяжущие, содержащие 3–4% полиэтилена высокого давления и 2% СБС, не уступают вяжущим, содержащим 5% СБС, и вполне пригодны для устройства поверхностных обработок и мембран.

В количественном плане соотношение СБС/полиэтилен целесообразно принять как 1/3. В этом случае при 5%-ном содержании смеси свойства вяжущего по температуре размягчения соответствуют стандартам на модифицированные битумы (рис. 2.4).

На приведенных составах вяжущих были изготовлены образцы асфальтобетона следующего состава:

щебень фракции 5–10мм	45%
гранитный отсев	25%
песок природный	25%
минеральный порошок	5%
битум (сверх 100%)	5,7%

Оценку качества асфальтобетона производили путем определения комплексного показателя — уровня надежности (P_0) (см. раздел 1).

Результаты исследований представлены в таблице 2.10.

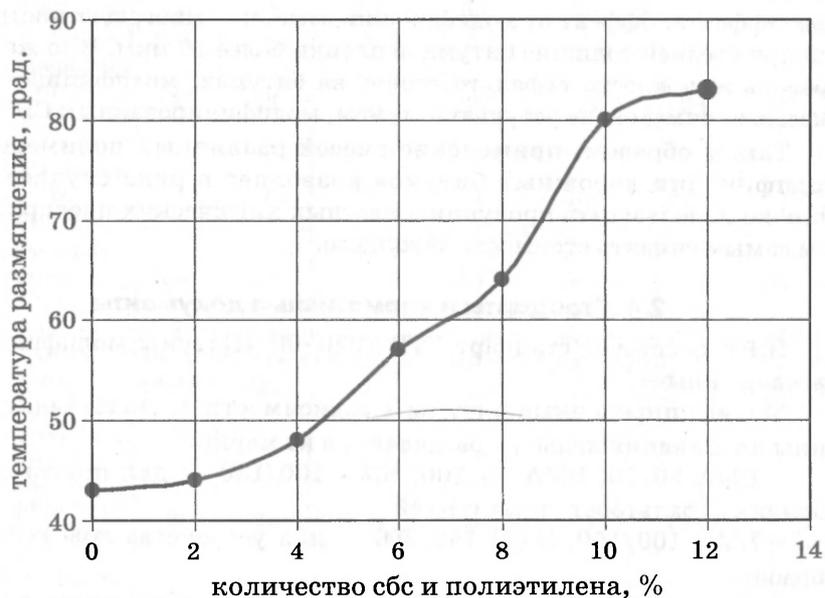


Рис.2.4. Зависимость температуры размягчения битума от количества введенной смеси СБС+ полиэтилен (соотношение СБС/полиэтилен 1/3)

Таблица 2.10

Показатели надежности асфальтобетонных смесей типа Б на модифицированных битумах

№ № № битума по табл. 2.9	Уровни надежности				Итоговое значение
	по устойчивости к пластическим деформациям (P1)	по устойчи- вости к темпе- ратурным трещинам (P2)	по устойчивости к усталостным деформациям (P3)	по устойчи- вости к кор- розии (P4)	
1	0,72	0,72	0,73	0,42	0,63
2	0,8	0,8	0,72	0,6	0,73
3	0,8	0,9	0,72	0,54	0,72
4	0,7	0,72	0,7	0,65	0,71

Как видно из данных таблицы, вяжущие на смесях полимеров не уступают вяжущим на СБС. Особенно важно отметить факт сохранения надежности по температурной трещиностойкости.

Анализ данных таблицы 2.10 подтверждает положение о том, что модификация битума в составах смесей с пониженным содержанием щебня и большим количеством мелких фракций может не дать желаемого эффекта. Эффект от модификации заметен у многощебенистых смесей при средней толщине битумной пленки более 10 мкм. В то же время уровень надежности асфальтобетонов на битумах, модифицированных смесью полимеров, не уступает битумам, модифицированным СБС.

Таким образом, применение смесей различных полимеров при модификации дорожных битумов позволяет в ряде случаев более широко использовать продукцию местных химических предприятий и тем самым снизить стоимость вяжущего.

2.4. Стандарты и нормативные документы

В РБ действует стандарт СТБ 1220-00 «Битумы модифицированные дорожные».

Модифицированные битумы в зависимости от назначения и глубины проникания иглы подразделяются на марки:

- БМА 50/70, БМА 70/100, БМА 100/130 — для приготовления горячих асфальтобетонных смесей;
- БМП 100/150, БМП 150/200 — для устройства поверхностных обработок;
- БММ 130/150 — для устройства битумополимерных прослоек (мембран) по цементобетонным покрытиям; дорожным основаниям, укрепленным минеральным вяжущим; старым асфальтобетонным

покрытиям с сеткой температурных трещин; гравийно-эмульсионным основаниям и покрытиям перед устройством последующего конструктивного слоя или фрикционного слоя износа.

Технические требования к модифицированным битумам представлены в таблице 2.11.

Нормативные документы на асфальтобетонные смеси с использованием модифицированных битумов пока не разработаны. К асфальтобетонам предъявляются те же требования, что и к бетонам на обычных битумах. Такое положение, как уже отмечалось выше, не позволяет правильно подбирать составы смесей и максимально использовать на практике положительные качества мадифицированных битумов.

Таблица 2. 11

Наименование показателя	Норма для битумов марок						Метод испытаний
	БМА 50/70	БМА 70-100	БМА 100/130	БМП 100/150	БМП 150-200	БММ 130/150	
1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С	50-70	71-100	101-130	101-150	151-200	130-150	ГОСТ 11501
2. Температура размягчения по КиШ, °С, не ниже	55	52	50	55	51	60	ГОСТ 11506
3. Температура хрупкости по Фраасу, °С, не выше	-20	-20	-21	-23	-23	-23	ГОСТ 11507
4. Растяжимость, см, не менее, при 0 °С	9	9	11	11	13	15	ГОСТ 11505
5. Эластичность, %, не менее, при 13 °С	55	50	50	50	50	85	П.7.3
6. Сцепление с минеральным материалом	В соответствии с контрольным образцом № 2 (покрытие не менее 3/4 поверхности минерального материала)						ГОСТ 11508 (метод А)
7. Удерживающая способность при ударе, °С: при максимальной отрицательной температуре, не выше при максимальной положительной температуре, не ниже	-20	-20	-20	-20	-20	-20	П. 7.4
	—	—	—	+70	+70	—	

Наименование показателя	Норма для битумов марок						Метод испытаний
	БМА 50/70	БМА 70-100	БМА 100/130	БМП 100/150	БМП 150-200	БММ 130/150	
8. Показатели физико-химических свойств после прогрева (163 °С/300 мин)							
8.1. Изменение температуры размягчения по КиШ, °С, не более	5	5	6	7	7	7	ГОСТ 11506 с дополнением по 7.5 ГОСТ 11501 с дополнением по 7.5 по 7.5
8.2. Глубина проникания иглы, % от первоначальной, не менее, при 25 °С	60	60	60	60	60	60	
8.3. Эластичность, %, не менее, при 13 °С	50	50	50	50	50	60	

3. ДОРОЖНЫЕ БЕТОНЫ НА ОРГАНО-ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ

3.1. Виды и классификация бетонов на органо-гидравлических вяжущих

Бетон на органо-гидравлических вяжущих (ОГВ) — искусственный строительный материал, сочетающий в своей структуре свойства термодинамически несовместимых органических (битумов, дегтей) и гидравлических (цемент, гипс, зола и т. д.) вяжущих. Появление бетонов на ОГВ в дорожном строительстве было связано с рядом причин:

1. Недостаточной надежностью и долговечностью традиционного асфальтобетона на действие современных транспортных нагрузок;
2. Внедрением новых энерго- и ресурсосберегающих технологий, требующих наличия в структуре материала воды (эмульсии, вспененные битумы, влажные органо-минеральные смеси и т. д.);
3. Появлением новых технологий ремонта и реконструкции дорожных покрытий (метод Ресайклинга, холодного ремиксирования и др.).

Одними из первых исследований по совместному применению органических и минеральных вяжущих явились работы В. М. Безрука и его школы [15, 16]. Органические вяжущие (в основном жидкие битумы) использовались для укрепления доведенных до оптимальной влажности глинистых грунтов совместно с портландцементом. Причем, В. М. Безрук не считает, что битумы и цементы являются антагонистами. Дело в том, что цемент активно поглощает воду и в то же время способствует выделению гидроксида кальция, улучшающего взаимодействие битума с грунтом [16]. Главным достоинством комплексно укрепленных грунтов является повышенная трещино- водо- и морозостойкость. В зависимости от соотношения вяжущих различной природы может формироваться коагуляционно-кристаллизационная, либо кристаллизационно-коагуляционная структура.

В 60–70 гг. вместо жидких битумов стали использовать анионоактивные эмульсии [17, 18]. Применение эмульсий упростило технологию работ и раздвинуло рамки строительного сезона, вследствие низкой вязкости и хорошей удобоукладываемости смеси. Был построен ряд опытных участков с положительными результатами. Важными явились некоторые эксперименты, доказывающие возможность образования кристаллизационной связи цемента в присутствии эмульсии. Материалы на основе эмульсий и цемента действительно обладали промежуточными свойствами между смесями на основе битума и цемента.

Сдерживающим фактором для широкого применения метода комплексного укрепления грунтов явилось отсутствие надежной и высокопроизводительной техники. Выпускавшиеся в СССР грунтосмесительные машины ДС-162 и ДС-50Б не отвечали современным требованиям. Отсутствовали и серийные эмульсионные установки, а также качественные эмульгаторы.

Несколько иная ситуация сложилась в США и странах Западной Европы. Там был разработан метод строительства и капитального ремонта дорог под названием «Микс-ин-плейс ресайклинг» [19]. Основным механизмом при строительстве дорожных одежд данным методом является фреза BomaG MPH 120R с мощностью двигателя 236 кВт. Фреза позволяет дробить асфальтобетонное покрытие любого типа и смешивать продукты дробления с цементом и водой. В результате такой обработки получают новый материал с особой структурой и свойствами. Основой макро- и микроструктуры служит дробленый асфальтобетон, частицы которого объединяются друг с другом через прослойки цемента либо тонкий переходный межфазный слой. Метод нашел широкое применение, в частности, при строительстве дороги Мюнхен–Карлсруэ [20]. На данной дороге было устроено основание из дробленого дегтебетона с добавкой 6,5% цемента. Толщина слоя составила 20 см. Прочность материала в возрасте 28 суток составила 6,6 Н/мм². Однако, несмотря на широкое внедрение, отсутствуют научные данные по вопросам надежности и долговечности такого материала, срокам службы, деформационной устойчивости при низких температурах.

В 80-е годы во Франции, а затем в центральной и восточной Европе, в том числе Белоруссии, получили широкое распространение защитные слои дорожных покрытий на основе катионактивных битумных эмульсий. Учитывая быстрый распад эмульсий и наличие воды в составе смеси, в минеральную часть добавляют 3–4% цемента. Каково влияние цемента в этом случае на свойства смесей, также нет достаточно достоверных данных. Согласно одним источникам, он играет роль активатора процесса взаимодействия битума и каменного материала [21], в других случаях сообщается об особой структурообразующей роли [22]. В настоящее время французские фирмы «Colas» и «Screg» разработали новые, особо долговечные материалы на основе эмульсий и портландцемента [23,24], получившие название «Sfabricol». Благодаря высокой стабильности и дисперсности эмульсии обеспечивается хорошее «взаимопроникание» цемента и битума, что ведет к особой микроструктуре материала с достаточной жесткостью и в то же время деформативностью и гибкос-

тью [23]. Отмечается отсутствие усадочных и температурных трещин после пяти лет эксплуатации. Французские фирмы считают, что данный материал является наиболее перспективным для будущего строительства всех магистралей.

Учитывая сложность технологических процессов при приготовлении эмульсий, а также их достаточно высокую стоимость, в странах СНГ с целью снижения энергозатрат и себестоимости строительства были разработаны так называемые влажные органно-минеральные смеси (ВОМС) [25]. Такие смеси получали путем смешения увлажненных минеральных материалов с горячим битумом. В процессе смешения наблюдалось эмульгирование битума. Эмульгатором выступали частицы цемента или извести. Отмечается, что ввод цемента, наряду с улучшением эмульгирования, позволяет существенно улучшить физико-механические свойства вследствие взаимодействия продуктов гидратации с битумом и образования коагуляционно-кристаллизационной структуры. Ввод минеральных вяжущих в состав органно-минеральных смесей позволил в 80-е годы отказаться от окисления каменноугольных дегтей, что существенно улучшило экологическую обстановку. При этом в качестве гидравлического вяжущего использовались сланцевые золы [26]. Наряду со сланцевой золой достаточно эффективными оказались комбинированные наполнители из сланцевых зол и гипсосодержащих отходов [13].

Кроме дегтезолминеральных композиций для решения технологических проблем использовались влажные дегтешлаковые смеси (ВДШС) [27]. Готовят ВДШС следующим образом. Шлак, нагретый до 40–60 °С, перемешивают с активатором (известь, цемент) в течение 15 с, затем вводят деготь и перемешивают 30–45 с, на последнем этапе подают воду и добавки. Поскольку шлаки обладают замедленными сроками твердения, их активируют добавками цементной пыли, извести, содощелочного плава и др. Установлено, что в ВДШС формируется гораздо большее количество гелевых новообразований по сравнению со шлаковыми бетонами. Это обусловлено влиянием активных компонентов каменноугольного дегтя. В результате в поровом пространстве и на поверхности раздела фаз возникают новообразования типа фенолятов и крезолятов кальция, имеющих структурное сродство с гелевыми неорганическими новообразованиями гидроалюминатов и гидросиликатов кальция.

Интересные результаты получены также при применении шлаков в качестве наполнителей в асфальтовом бетоне [28]. Установлено, что даже при отсутствии воды в составе смеси на стадии приготовления,

шлаковые асфальтобетоны в процессе эксплуатации приобретают особые свойства, вследствие проникания атмосферной воды и появления гидратных новообразований на поверхности частиц шлака. Подобные новообразования способствуют дополнительному структурообразованию асфальтобетона и повышению его долговечности.

С целью максимального использования положительных свойств асфальто- и цементобетонов, упрощения технологий получения композиций, а также для более эффективного контроля их качества на стадии приготовления применяют способ раздельного смешения: асфальтовую и цементную составляющие готовят отдельно, а затем объединяют.

Наибольшее распространение получил способ раздельного бетонирования. Согласно данному способу, на асфальтосмесителях щебень обрабатывают битумом. Полученную смесь укладывают в дорожное полотно и уплотняют. Затем на поверхности слоя распределяют цементный раствор с добавками, повышающими его пластичность, деформативность, и с помощью вибрации заполняют им поры и пустоты в слое черного щебня [29, 30]. Такое покрытие может подвергаться облегченным транспортным нагрузкам уже на вторые сутки.

Способ раздельного бетонирования исключает необходимость жесткой привязки моментов приготовления и укладки смеси, обеспечивает оптимальные условия твердения цементного раствора.

В. М. Гоглидзе [31] предложил новые виды композитов — бетоны, армированные жесткими элементами. Изготавливают их тремя способами:

1. Выгруженный на основание цементопесчаный раствор разравнивают автогрейдером толщиной 2–3 см и катком, имеющим на вальце рифленую обойму соответствующей формы, создают на поверхности сетчатую, гофрированную или другие формы рисунка.

2. Армирующие элементы наносят специальным прицепным устройством, имеющим бункер, дно которого представляет собой вращающийся рифленый валец с пазами, в них набирается раствор из бункера и укладывается на основание при качении. В обоих случаях для совмещения укладки армирующих элементов, а затем асфальтобетонной смеси нанесение цементопесчаного раствора на основание производится отдельными захватками.

3. Армирующие элементы образуют распределительной трубкой с отверстиями требуемой формы, через которые поступает цементопесчаный раствор под давлением от растворонасоса. Распределительную трубку длиной до 3 м монтируют между ходовой частью и распределе-

лем обычного асфальтоукладчика. Армирующие элементы наносят на основание до укладки асфальтобетонной смеси.

По технологиям, разработанным В. М. Гоглидзе, построен ряд улиц в г. Тбилиси.

Оригинальная технология получения бетонов на органно-минеральных вяжущих предложена Н. В. Горельшевым [32]. Согласно ей, частицы грунта обрабатываются цементом и гранулируются. Затем гранулы покрывают тонким слоем жидкого битума. Такая технология позволяет наиболее полно обеспечить нужную толщину битумной пленки, а соответственно, и прочность фазового контакта.

В результате приведенного анализа все виды материалов на основе композиционных органно-гидравлических вяжущих можно разделить на три основные группы:

Первый вид бетонов на ОГВ представляют асфальтобетон и орнано-минеральные смеси на наполнителях гидравлического действия. Получают подобные материалы путем замены минерального порошка и части песка гидравлическим вяжущим. Готовят смеси, как обычный асфальтобетон, но в процессе смешения или на стадии укладки подают воду с целью активизации процессов гидратации. В качестве гидравлического вяжущего используют цемент, цементную пыль, сланцевую золу. Достаточно эффективны комбинированные наполнители, состоящие из смеси гипсосодержащих отходов и сланцевой золы или цемента.

Готовят бетоны первого вида по трем технологиям: горячей, теплой и холодной.

Горячая технология предполагает нагрев каменного материала и органического вяжущего до рабочей температуры, смешение, распределение смеси в дорожное полотно, ввод воды и уплотнение. Воду целесообразно подавать в шнекораспределительное отделение асфальтоукладчика при температуре 60–80 °С в количестве 3–5 мас.%. Горячая технология применяется в случае использования органических вяжущих повышенной вязкости и высокомарочных гидравлических вяжущих (цемента), поскольку ввод воды на стадии смешения приводит к «запариванию» цемента, его мгновенному схватыванию и потерям смеси технологических качеств.

Теплая технология применяется при использовании маловязких органических вяжущих и малоактивных наполнителей (сланцевая зола). Каменные материалы нагревают до 60–120 °С, затем вводят органическое вяжущее, нагретое до рабочей температуры, наполнитель и воду. Малая активность наполнителя исключает «запаривание», а низ-

кая вязкость органического вяжущего позволяет осуществить перемешивание в присутствии воды. Особенно эффективна теплая технология для приготовления дегтезоломинеральных композитов.

При холодной технологии минеральный материал естественной температуры увлажняют до 8–10%, потом вводят гидравлический наполнитель и нагретое до рабочей температуры органическое вяжущее. Применение холодной технологии эффективно для комбинированных наполнителей на основе влажных отходов производства (цитрогипса и сланцевой золы). Классическим видом холодной технологии является применение битумных эмульсий.

К бетонам первого вида относят также асфальтобетонные смеси на основе доменных шлаков и холодные дегтешлаковые смеси. Под действием воды на контактах шлаковых частиц образуются кристаллизационные связи.

Бетоны первого вида обладают технологической простотой, позволяют повышать прочность материала в 2–5 раз. Однако они не используют полностью потенциал гидравлического наполнителя ввиду наличия гидрофобных пленок, препятствующих проникновению воды и гидратации, особенно в случае горячей технологии. Основной особенностью композитов отмеченной группы является то, что взаимодействие, а следовательно, и эффект от применения различных вяжущих проявляется на уровне микроструктуры.

Второй вид бетонов на ОГВ составляют материалы, получаемые способом раздельного смешения. В этом случае асфальтовую и цементную составляющие готовят отдельно, затем объединяют. К данному виду относят асфальтобетоны с добавками цементного теста и цементного молока. Цементное тесто подают в смеситель либо перемешивают с холодной асфальтобетонной смесью.

Более широкое распространение нашли бетоны данной группы, получаемые способом раздельного бетонирования, когда по слою уплотненного черного щебня распределяют цементопесчаный раствор (метод «бетохальт») или специальный цементополимерный состав (метод «солювиации» [33]), а затем с помощью виброуплотнения заполняют ими пустоты черного щебня. К бетонам, получаемым способом раздельного смешения, можно отнести цементобетоны с добавками черного щебня, обработанные цементным раствором частицы регенерированного асфальтобетона, а также гранулированные грунты.

Бетоны второго вида позволяют практически полностью использовать потенциал цемента, и по прочности они занимают промежуточное

место между асфальто- и цементобетоном, однако их изготовление связано с определенными технологическими сложностями как на стадии приготовления, так и укладки. При приготовлении необходимо наличие двух смесительных агрегатов, особых дозирующих устройств, при вводе цементного теста не исключена возможность «запаривания» смеси. Для укладки требуются специальные распределители и мощная виброуплотняющая техника. С точки зрения структуры, бетон второго вида — это перколированные системы, и их свойства определяются прежде всего характером расположения и количеством материалов различной природы. Влияние минерального вяжущего у бетонов второй группы может проявляться на уровне микро- и мезоструктуры (асфальтобетоны с добавкой цементного теста, гранулированные грунты) либо на уровне мезо- и макроструктуры (дробленый асфальтобетон, обработанный цементным тестом или раствором, смеси типа «бетохальт»).

К третьему виду бетонов на ОГВ относят блочные бетоны, получаемые путем объединения в одно целое по технологии крупных агрегатов асфальто- и цементобетона. Подобные материалы разработаны В. М. Гоглидзе (см. выше). Бетоны данного вида позволяют получить высокую продольную жесткость при сохранении практически полностью высокой релаксационной способности покрытия. Влияние минерального вяжущего проявляется на уровне макроструктуры.

Хотя приведенная классификация довольно условна, она все же позволяет объединить и сгруппировать по наиболее важным признакам всю огромную гамму бетонов на ОГВ.

Приведенная классификация бетонов на ОГВ свидетельствует, что минеральное вяжущее в зависимости от технологии приготовления участвует в структурообразовании на уровне микро- мезо- или макроструктуры.

3.2. Современные представления о структуре бетонов на ОГВ

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования показали [1, 33], что независимо от технологии приготовления бетона (даже при подаче воды после обработки минерального материала битумом) возникают условия для гидратации гидравлического вяжущего, связанные с наличием агрегатов цемента очень малых размеров (от нескольких десятков до сотен *мкм*), покрытых пленкой органического вяжущего пониженной толщины и прочности.

При попадании в смесь воды и механическом воздействии происходит отрыв частиц битума от агрегатов цемента (поверхностная энергия

воды выше, чем битума). Взаимодействие частиц цемента с водой приводит к возникновению щелочной среды и дальнейшему эмульгированию органического вяжущего, что способствует углублению процесса гидратации. Подобный процесс можно усилить методами электронно-ионных технологий (ультразвуковое воздействие, электрогидравлический эффект и т. д.).

Экспериментальные исследования рН смесей, кинетики сорбции паров воды, прочности систем «цемент–битум–вода» различного состава, рентгеноструктурный и термографический анализы подтвердили наличие процессов гидратации при приготовлении бетонов на ОГВ. Степень гидратации цемента в структуре бетона на ОГВ достигает 50–100% по сравнению со степенью гидратации цементного камня. Меньшая степень гидратации наблюдается при подаче воды после битума. Максимальная — при применении эмульсий, отдельном приготовлении асфальтовой и цементной составляющих (бетоны 2-й и 3-й групп).

Процесс структурообразования бетонов на ОГВ заключается в появлении различного рода связей прогидратировавших агрегатов гидравлического вяжущего между собой при наличии пленок органического вяжущего различной толщины. В ряде случаев возможно появление фазовых контактов между прогидратировавшими агрегатами цемента, вызванных взаимодействием продуктов гидратации. Эти контакты возникают в разрывах битумных пленок, а также и через битумные пленки небольшой толщины. Причинами их появления при наличии углеводородных пленок являются: внутрикристаллическое давление, перенос ионов вследствие диффузии, разрыв углеводородных пленок в результате контракции, частичная взаимная растворимость составляющих.

Экспериментальные исследования прочности образцов после экстрагирования битума, анализ прочности ненарушенной и разрушенной структур подтвердили возможность появления фазовых контактов при толщине пленок органического вяжущего в пределах 1–5 мкм. Однако, учитывая незначительную прочность фазовых контактов при наличии пленок органического вяжущего, они не являются главным структурообразующим фактором бетонов на ОГВ (особенно первой группы, когда гидравлическое вяжущее проявляется на уровне микроструктуры). Основным структурообразующим элементом бетонов на ОГВ является формирование межфазных переходных слоев кластерного типа. Поскольку гидравлические и органические вяжущие являются термодинамически несовместимыми и не могут образовать устойчивой однофазной

системы, граница раздела фаз является размытой и контакты осуществляются через межфазные переходные слои. На формирование межфазных слоев оказывают влияние как физические (прораствание кристаллов, адсорбция, разрушение ассоциатов битума, перенос ионов, образование двойных электронных слоев), так и химические (образование связей типа $Me + _OOCR$, водородных $-H-O$ и др.) процессы.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана структурная модель бетонов на ОГВ, которая представлена прогидратировавшими в различной степени агрегатами цемента и рядом межфазных переходных слоев

В зависимости от объемной доли цементной фазы, структурные агрегаты цемента могут взаимодействовать между собой через прослойки битума, переходные слои либо непосредственно друг с другом, образуя фазовые контакты.

Теоретические расчеты на ЭВМ для предложенной модели позволили сделать следующие выводы. С увеличением объемного содержания цементной фазы число перколяционных контактов растет по степенной зависимости. За счет наличия переходных слоев перколяционные пороги структурообразования смещаются в сторону снижения. Повышение прочности и протяженности переходных слоев влияет аналогично увеличению марки минерального вяжущего.

Зависимость между маркой минерального вяжущего и прочностью композита близка к линейной. Увеличение марки (прочности) минерального вяжущего целесообразно при его объемной доле более 50–60%. Поэтому для ряда бетонов (особенно первой группы) можно использовать низкомарочные вяжущие, что имеет большое практическое значение.

Таким образом, структурообразующая роль гидравлического вяжущего обусловлена образованием межфазных переходных слоев кластерного типа, обладающих определенной энергией связи и способствующих повышению прочности и устойчивости системы.

3.3. Применение бетонов на ОГВ в Республике Беларусь

Внедрение результатов исследований в практику дорожного строительства РБ велось по 5-ти направлениям:

1. Использование дегте (гудроно) золоминеральных композиций.
2. Теплые асфальтобетонные смеси на комбинированных наполнителях гидравлического действия.
3. Горячие асфальтобетонные смеси на наполнителях из портландцемента с вводом воды на стадии укладки.

4. Влажные органно-минеральные смеси на комбинированных наполнителях гидравлического действия.

5. Эмульсионно-минеральные смеси и асфальтоцементные композиты, получаемые способом раздельного бетонирования (гранулированный асфальтобетон).

Применение сланцевой золы по сравнению с цементом имеет следующие преимущества. Во-первых, она обладает замедленными сроками твердения, что исключает ее схватывание в момент приготовления и укладки смеси при повышенной температуре. Вместе с тем, после завершения процессов гидратации золобетона обладают достаточно высокой прочностью. Во-вторых, зола содержит большое количество тонкодисперсных частиц, структурирующих деготь. И, в-третьих, золы доступны и имеют низкую стоимость. В свою очередь каменноугольный деготь обладает высокими адгезионными свойствами при наличии влаги, что позволяет получать композиции с высокими технологическими и эксплуатационными свойствами.

Активное применение дегтезолминеральных композиций (ДЗК) велось с 1985 по 1990 год, когда в республике широко использовались каменноугольные смолы. Использование ДЗК позволило решить ряд технологических, экономических и экологических проблем. В частности, отказавшись от окисления и выпаривания вяжущих, можно снизить температуру смесей (что особенно важно с экологической точки зрения), отказаться от применения привозного щебня и т. д.

Нижние слои дорожных покрытий из ДЗК были устроены на автодорогах: Лида–Геранены, Вороново–Гродно, Вильнюс–Полоцк, Новогрудок–Несвиж, Барановичи–Осиповичи, Минск–Нарочь и др. Смесь в дорожное полотно укладывали асфальтоукладчиком либо автогрейдером при температуре 40–100 °С. Благодаря наличию воды, она обладает высокой удобоукладываемостью и уплотняемостью. Избыточная вода выдавливается на поверхность слоя при уплотнении, зацементированная вода связывается гидравлическими компонентами золы и не ухудшает качество слоя. Уплотнение смеси гладковальцевыми катками эффективно при содержании щебня не менее 40%. При меньшем содержании ввиду высокой пластичности смеси и низкого сопротивления сдвигу в начальной стадии уплотнения преимущество имеют катки на пневмоходу.

Более чем десятилетняя эксплуатация отдельных дорог не выявила негативных моментов поведения ДЗК. Отсутствуют пластические и хрупкие деформации. Особенно важным является подтверждение длительной эксплуатацией в натуральных условиях хорошей «совместимости» органно-минеральных вяжущих.

Теплая технология получения бетонов на ОГВ была реализована в условиях дорожно-строительного треста № 1. Данная технология предусматривает холодное смешение компонентов с последующим их подогревом до 80–90 °С. Для этого был использован асфальтосмеситель специальной конструкции (рис. 3.1), обеспечивающий двухстадийное приготовление смеси. На первой стадии происходит предварительное смешение холодных минеральных компонентов с разогретым до рабочей температуры битумом. На этой стадии происходит гидратация цемента и диспергирование битума на отдельные капли. Затем смесь подается в барабан специальной конструкции. В первом отсеке барабана-смесителя расположена форсунка, и лопатки расположены таким образом, что материал находится между лопатками и стенками барабана. Материал обдувается продуктами сгорания и одновременно получает тепло от лопаток без непосредственного контакта с пламенем, что позволяет сохранить воду, и смесь на выходе имеет температуру не более 90 °С.

Подобная технология имеет ряд преимуществ. Во-первых, в связи с предварительным холодным смешением компонентов удается добиться максимальной степени гидратации цемента. Во-вторых, подогрев смеси с одновременным перемешиванием обеспечивает хорошее диспергирование битума за счет увеличения его поверхностной энергии.

В июле-августе 1995 года на базе ДСУ–26 было осуществлено внедрение предлагаемой технологии на объекте Апанасенки – Лужки – Гвоздово. Значения модуля упругости и предела прочности на изгиб бетона

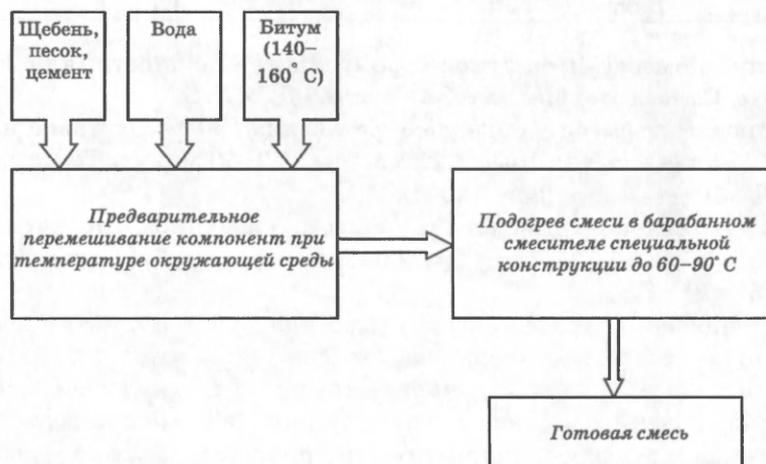


Рис. 3.1. Двухстадийная технология получения бетонов на ОГВ

на ОГВ оказались в 1,5–1,7 раза выше, чем асфальтобетона, что позволило снизить толщину дорожной одежды.

В результате замены двухслойного покрытия из асфальтобетона однослойным из бетонов на ОГВ общая толщина снизилась на 2 см. Характерно, что в составе бетона был использован комбинированный наполнитель (цемент и доломитовый порошок).

Горячие асфальтобетонные смеси на наполнителях из портландцемента с вводом воды на стадии укладки особенно эффективны для городских улиц и дорог, для которых остро стоит вопрос обеспечения сдвигоустойчивости дорожных покрытий, особенно на участках торможения (остановки, перекрестки). Например, на проспекте Рокоссовского в г. Минске, несмотря на соответствие материала покрытия ГОСТу 9128–84 и СТБ 1033–96, глубина колеи достигала 10–20 см.

Состав смеси представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Наименование компонента	Количество, %
Щебень фракции 5–15	35
Щебень фракции 5–10	20
Песок	15
Отсев	15
Цемент	15
Битум	4,7

Выпуск смесей и опытное строительство осуществляли летом 1996 года. Смесь готовили на АБЗ «Волма» ДСУ № 5.

Температура смеси на выпуске составляла 150 °С. Доставка на объект осуществлялась автосамосвалами через 30–40 минут. Температура смеси на объекте составляла 130–140 °С.

Укладка смеси производилась асфальтоукладчиком с подачей воды посредством поливочно-моечной машины через трубу с отверстиями (рис. 3.2, 3.3).

Регулировка расхода воды осуществлялась с помощью предварительно оттарированного крана. Расход воды составил 3–4%. Уплотнение уложенной смеси осуществлялось пневматическими и гладковальцевыми катками. Характерно, что избыточная вода выдавливалась на поверхность покрытия и не препятствовала образованию структурных связей битума.

Текстура готового покрытия приведена на рис. 3.4.



Рис. 3.2. Укладка смеси с подачей воды

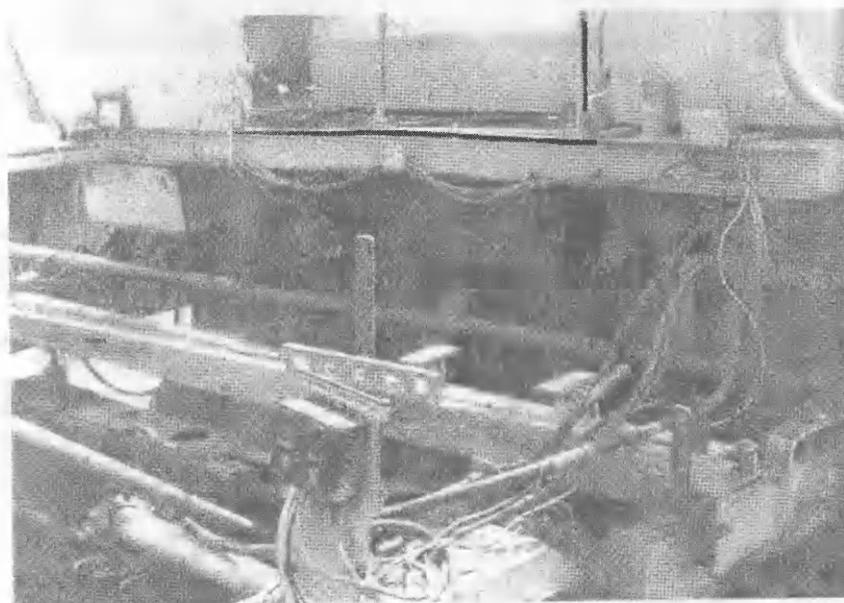


Рис. 3.3. Механизм подачи воды в смесь

Таблица 3.3

Свойства бетонов на ОГВ

Вид смеси	Показатели				
	R50, МПа	R0, МПа	R20, МПа	W, %	H, %
Без добавок воды	1,2	8,3	3,6	2,0	0
С добавкой воды в возрасте 7 суток	2,0	8,6	4,8	1,5	0

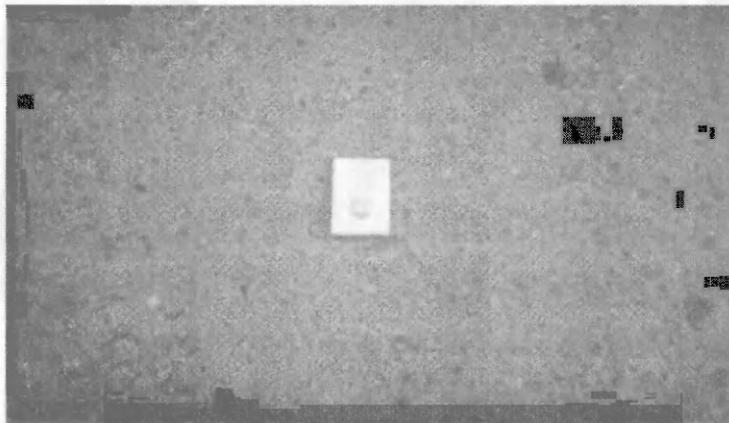


Рис.3.4. Текстура готового покрытия



Рис.3.5. Покрытие из бетона на ОГВ по пр. Машерова (левая сторона)

Эксплуатация участков в течение жаркого лета и холодной зимы 1996/1997 года показала их хорошее состояние. В июне 1997 года подобным способом было устроено покрытие на перекрестке проспекта Машерова в г. Минске (рис. 3.5, 3.6).

Общая площадь покрытия составила 285 м^2 . В июле-августе 1997 года температура покрытия достигала $55\text{--}60^\circ\text{C}$. Однако пластические деформации не появились. При приготовлении бетонов горячим и теплым способами степень гидратации цемента зависит от интенсивности



Рис. 3.6. Покрытие из бетона по ОГВ по пр. Машерова (правая сторона)

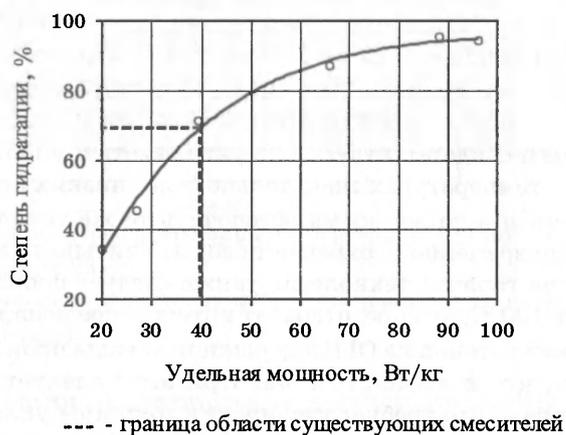


Рис. 3.7. Зависимость степени гидратации от удельной мощности смешения

перемешивания, т. е. от удельной мощности смесительных устройств. На рис. 3.7 представлена зависимость степени гидратации бетонов на ОГВ от удельной мощности перемешивания в лабораторных условиях.

Учитывая, что удельная мощность существующих асфальтосмесителей типа Тельтомат, ДС 117-2Е и др. находится в пределах 30–40 Вт/кг, то степень гидратации может достигать не более 50–70%. Для повышения степени гидратации до 80–90% необходимо увеличить удельную мощность в 2–3 раза. Следовательно, перспективной задачей получения качественных бетонов на ОГВ является повышение удельной мощности смесительных устройств.

Наличие воды в смесях бетонов на ОГВ приводит к определенным особенностям их реологического поведения. Вода является естественной «смазкой» и снижает вязкость смеси. На эту особенность воды указывали Лысихина и Ястребова [34] и предлагали вводить воду в асфальто- и дегтебетонные смеси для улучшения их уплотняемости. Исследования вязких свойств смесей бетонов на ОГВ, получаемых по тепловой технологии, показали, что ввод воды ведет к снижению вязкости, причем это наиболее заметно при В/Ц = 0,5. Дальнейшее увеличение количества воды мало проявляется на свойствах смеси, а в отдельных случаях может привести и к ухудшению удобоукладываемости. Обусловлено это тем, что наилучшее растекание битума по влажной поверхности наблюдается при толщине водной пленки, равной слою адсорбированной воды. Поэтому оптимальное содержание воды колеблется в пределах 8–12% от массы минеральной части [25].

Смеси бетонов на ОГВ имеют значительно более высокую подвижность и удобоукладываемость. Если оптимальную температуру укладки асфальтобетонной смеси принять 110–130 °С, то такую же удобоукладываемость будут иметь бетоны на ОГВ при 60–80 °С. Этот факт является очень важным моментом и свидетельствует, что укладывать и уплотнять смеси на ОГВ можно при температурах значительно более низких по сравнению с асфальтобетонами и в то же время обеспечить те же технологические параметры при одновременном сохранении воды. Учитывая данную ситуацию, ввод воды при горячей технологии также следует производить при температуре ниже 100 °С, что предотвратит интенсивное испарение.

Укладку смесей бетонов на ОГВ в дорожной одежде производят теми же механизмами, что и асфальтобетон. При этом следует учитывать наличие воды в смеси, что требует увеличения толщины укладываемого слоя по сравнению с асфальтобетоном на 20–30%. Ввиду более высокой подвижности смеси при уплотнении предпочтение следует отдавать кат-

кам на пневмоходу. Для горячих смесей виброуплотнение полезно, и воздействие вибрации можно осуществлять сразу после укладки. Это способствует более интенсивному прониканию воды к непрореагировавшим зернам цемента. Теплые, холодные смеси желательно подвергать виброуплотнению после начала схватывания цемента, что позволит добиться интенсивного распада эмульсии или дисперсного битума после начала формирования структуры цементного камня.

Учитывая большие запасы на предприятиях республики гипсосодержащих отходов (отход полировки стекла, цитрогипс, фосфогипс), была разработана технология их применения путем комбинации со сланцевой золой или цементом. В результате получали комбинированные наполнители. Для приготовления смесей на подобных наполнителях была разработана особая технология. Дело в том, что комбинированные влажные наполнители нельзя подать по линии минерального порошка ввиду их зависания в емкостях и дозаторах, а также через сушильный барабан в связи с пылимостью и резким падением производительности.

Решение данной проблемы возможно при применении шнековых перегружателей (тип МС-353М), которые позволяют получить качественную смесь различных наполнителей и подать их непосредственно в смеситель, минуя сушильный барабан и дозаторы. При проведении опытных работ комбинированный наполнитель готовили путем смешения отхода полировки стекла и сланцевой золы в соотношении 4:1 и добавкой воды до 50%. Смешение осуществляли в МС-353М, а затем полученную пульпу подавали в смеситель. В своем составе смесь содержала 91% ПГС, 4% отхода полировки стекла и сланцевой золы, 5% воды и 4% дегтя (100%). Физико-механические показатели приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.4

Физико-механические показатели смеси на комбинированных наполнителях

Показатель	Значение
Предел прочности на сжатие при 20 С в возрасте 1 суток, МПа	1,32
То же, в возрасте 28 суток	2,31
Предел прочности на сжатие при 20 С в возрасте 1 суток, МПа	0,87
Водонасыщение, %	8,2
Набухание, %	0,7
Предел прочности после длительного водонасыщения, МПа	1,4

Смеси готовили и укладывали по холодной технологии. Опыт строительства и последующая эксплуатация дорожных покрытий под-

твердили эффективность данной технологии. По результатам исследований изданы соответствующие рекомендации [36].

Холодная технология позволяет добиться максимальной гидратации гидравлического вяжущего, максимальной экономии энергозатрат и ресурсов.

Холодная технология приготовления битумов на основе эмульсий была реализована при строительстве дороги М-1 «Беларусь» КМ 33–48.2. Верхний слой основания дорожной одежды был выполнен из смеси дробленого асфальтобетона (старого покрытия) битумной эмульсии (2,5%) и цемента

(3%). В РБ внедрение данной технологии осуществлено ПРСО Минскоблдорстрой, Витебскоблдорстрой и др. Применение подобного материала позволило снизить стоимость строительства и получить существенный эффект. **Более подробно данная технология и опыт применения изложены в разделе 4.3.4.**

Видимо, следует в перспективе вернуться к покрытиям, устраиваемым способом раздельного бетонирования. Подобные покрытия имеют высокую прочность и гибкость. Не требуют для устройства мощных механизированных комплексов (достаточно виброраспределителя) (рис. 3.8), имеют хороший декоративный вид (можно в состав раствора вводить пигменты) (рис. 3.9). Необходимо только оптимизировать состав и технологические свойства заполняющего пустоты раствора. В этом плане следует проанализировать полимерцементные растворы, возможность использования расширяющихся цементов и т. д. Бетоны, полученные данным способом, могут найти применение на автозаправках, аэродромах, стоянках и т. д.

В целом для широкого внедрения в условиях РБ можно на перспективу рекомендовать следующие материалы и технологии:

1. Бетоны на ОГВ, полученные горячим способом с вводом воды на стадии укладки. Подобные бетоны не требуют нового оборудования. Однако их применение возможно только для локальных небольших объектов (отдельные, наиболее напряженные перекрестки, остановки общественного транспорта и др.).

2. Бетоны на основе эмульсий и портландцемента, обладающие наиболее высокой надежностью и долговечностью. Их применение возможно как на городских, так и загородных автомагистралях. Для их широкого внедрения следует расширить сеть асфальтобетонных заводов, работающих по холодной технологии.

3. Бетоны, получаемые путем обработки старого дробленого асфальтобетона битумной эмульсией и цементом. В этом случае необходимо



Рис. 3.8. Виброраспределитель для устройства покрытия по способу раздельного бетонирования



Рис. 3.9. Вид покрытия, устроенного по способу раздельного бетонирования

разработать отечественную машину холодного фрезерования и передвижной смеситель достаточно высокой производительности.

3.4. Стандарты и нормативные документы

В РБ вышел стандарт (СТБ) 1415-2003 «Дорожные бетоны на органо-гидравлических вяжущих для автомобильных дорог и улиц».

В соответствии с данным стандартом смеси для бетонов на ОГВ делятся на три группы:

1. Смеси, состоящие из щебня (гравия), песка (природного и искусственного), гидравлического вяжущего, органического вяжущего и воды. Данные смеси могут также содержать определенное количество минерального порошка (до 50% от массы цемента).

2. Смеси, состоящие из щебня (гравия), песка (природного и искусственного), портландцемента (сланцевой золы, шлакопортландцемента) и битумной эмульсии.

3. Смеси, состоящие из старого дробленного асфальтобетона (в дальнейшем асфальтобетонный гранулят), битумной эмульсии, портландцемента. Смеси третьей группы могут содержать также определенное количество щебня и песка из отсева дробления.

В зависимости от общего уровня надежности, назначаемого по срокам службы до капитального ремонта, бетоны на ОГВ делятся на три марки:

I — общий уровень надежности > 0,9 (срок службы 15–18 лет);

II — общий уровень 0,75–0,9 (срок службы 10–12 лет);

III — общий уровень 0,6–0,75 (срок службы 8–10 лет).

К бетонам предъявляются следующие технические требования (табл. 3.4). Методика определения указанных в таблице показателей представлена в СТБ. Поскольку многие подходы данного СТБ для специалистов являются новыми, за консультациями на первом этапе следует обращаться в БНТУ.

Таблица 3.4

Технические требования к бетонам на ОГВ

Наименование показателя	Требования к бетонам, применяемым для устройства				
	Покры- тий	Покрытий в зоне остановок и перекрестков городских улиц	Нижних слоев покровий	Нижних слоев в зоне остановок и перекрестков городских улиц	Метод определе- ния
1. Водонасыщение, % по объему, не более	0,5–7,0*	0,5–7,0*	0,5–10	0,5–10	СТБ 1115
2. Набухание, %; по объему, не более	1,0	1,0	1,0	1,0	СТБ 1115

Наименование показателя	Требования к бетонам, применяемым для устройства				
	Покры- тий	Покрытий в зоне остановок и перекрестков городских улиц	Нижних слоев покровий	Нижних слоев в зоне остановок и перекрестков городских улиц	Метод определе- ния
3. Индекс сопротив- ления пластическим деформациям (Ип), не менее	1,0	1,0	1,0	1,0	Прило- жение В
4. Индекс темпера- турной трещинос- тойкости (Ит), не менее	0,6	0,6	0,5	0,5	Прило- жение Г
5. Максимальная структурная про- чность (Rс, МПа), не менее	2,2	2,5	1,8	1,8	Прило- жение Г
6. Прочность на сжа- тие при температуре плюс 50 °С. МПа, не менее в возрасте					СТБ 1115
1 сутки (1 группа)	0,5	0,7	0,3	0,5	
14 суток (2 и 3 группы)	0,9	1,2	0,6	1,0	
28 суток	1,0	1,4	0,8	1,2	
7. Коэффициент морозостойкости в агрессивной среде, не менее	0,7	0,7	0,6	0,6	Прило- жение Д

*Примечание: В случае устройства защитного слоя не ранее чем через 6 месяцев максимально допустимый уровень водонасыщения должен составлять не более 4%.

Важным моментом данного СТБ является тот факт, что впервые предложено на стадии подбора состава оценивать расчетные характеристики материала, используемые при конструировании дорожных одежд. Это позволяет свести к минимуму «нестыковки» на стадии проекта и строительства.

В качестве расчетных характеристик для проектирования дорожной одежды используют прочность на растяжение при изгибе при температуре 273 °К и модули упругости при температурах 273 и 283 °К. Расчетные характеристики определяют по упрощенной методике, представленной ниже:

1. Изготавливают 12 образцов — цилиндров по СТБ 1115 и выдерживают 28 суток в нормально влажностных условиях.

2. Определяют прочность образцов (по три образца) на растяжение по образующей по СТБ 1115 п. 6.10 при температуре 273 °К и 283 °К.

3. Определяют значение предельной структурной прочности (R_c) по данным испытаний и расчетов по формуле 3.1:

$$R_c = \frac{\bar{R}}{1 + 1,92 \lg\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}, \quad (3.1)$$

R_1 и R_2 — прочность на растяжение при 258 °К, со скоростью 3 и 10 мм/мин соответственно, определяемая по СТБ 1115–98 п. 6.10 и рассчитанная по СТБ 1115–98 п. 6.10.4

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2}. \quad (3.2)$$

4. Вычисляют прочность материала при расчетной скорости деформации и напряженном состоянии изгиба для температуры 273 и 283 градусов (R_u) с точностью до первого десятичного знака (МПа):

$$R_u = \frac{2,5R}{0,431 + R/R_c}. \quad (3.3)$$

5. Вычисляют значение максимального модуля упругости (E_c) с точностью до первого десятичного знака:

$$E_c = 1,2(10R_c)^{1,9}. \quad (3.4)$$

6. Вычисляют значения модулей упругости при расчетных температурах (273 и 283 градусов) (E) с точностью до целого знака:

$$\left(\frac{E}{E_c}\right)^m = \frac{R}{R_c}, \quad (3.5)$$

где m — параметр, учитывающий структуру материала и принимаемый равным — 0,8 для бетонов первой группы и 1,0 для остальных.

Пользоваться данной методикой следует на предпроектной стадии. Расчетные характеристики определяют в аттестованных лабораториях по заданию заказчика или проектной организации.

4. БИТУМНЫЕ ЭМУЛЬСИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

4.1. Общие понятия об эмульсиях

Эмульсия — дисперсная система, в которой одна из жидкостей распределена в виде мелких капель в другой жидкости. В битумных эмульсиях капельки битума, полученные диспергированием горячего битума в специальных устройствах (коллоидных мельницах, гомогенизаторах), распределены в воде, содержащей поверхностно-активное вещество (ПАВ) — эмульгатор.

В зависимости от вида дисперсионной фазы и дисперсионной среды различают два вида эмульсий: прямые эмульсии, т. е. эмульсии типа «масло в воде», образованные углеводородной жидкостью (битумом), диспергированной в воде (дисперсная фаза — битум); обратные эмульсии, т. е. эмульсии типа «вода в масле», которые состоят из воды, диспергированной в углеводородной жидкости.

Эти две фазы разделяются защитной пленкой эмульгатора, молекулы которого покрывают поверхность частиц. Аполярная часть этих молекул (углеводородная цепочка) обращена в углеводородную фазу (или масляную фазу), их полярная часть погружена в воду и образует, ионизируясь, электрические заряды на поверхности частиц (рис. 4.1).

Предполагается, что частица вяжущего будет вести себя как конденсатор, образованный двумя концентрическими заряженными сферами. На деле это лишь весьма приближенная гипотеза, так как электрические заряды верхнего слоя распределяются по сфере неравномерно, образуя рассеянный слой, плотность которого экспоненциально уменьшается.

Когда две заряженные частицы находятся рядом, происходит отталкивание, вызванное электростатическим явлением, и притяжение,

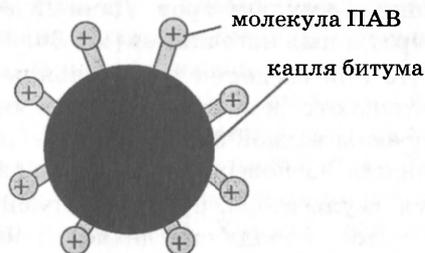


Рис.4.1. Схема взаимодействия ПАВ и битумной капли

вызванное силами Ван дер Ваальса. В результате отталкивающая роль эмульгатора будет проявляться только до некоторого минимального расстояния, ниже которого произойдет слипание частиц. Поэтому существует некоторая критическая концентрация битума в эмульсии.

Эмульгатор — одна из основных составляющих эмульсий. Роль эмульгатора не сводится только к образованию вокруг частиц дисперсной фазы защитных пленок. Эмульгаторы, адсорбируясь на поверхности раздела жидкостей, понижают поверхностное натяжение и тем самым облегчают процесс эмульгирования.

Эмульгаторы должны быть совместимы и с органической, и с водной фазами той системы, которая должна быть эмульгирована. Они характеризуются тем, что в составе их молекул должны содержаться полярная, растворимая в воде (гидрофильная) часть и неполярная, нерастворимая в воде (гидрофобная) часть. Эмульгаторы должны быть поверхностно-активными, т. е. обладать свойством мигрировать или перемещаться к поверхности раздела, которая может представлять собой границу между двумя жидкостями, жидкостью и газом, жидкостью и твердым телом.

В битумно-водных эмульсиях эмульгатор перемещается к поверхностям раздела между битумом и водой. Гидрофобная часть молекулы эмульгатора сохраняет взаимодействие с поверхностью частиц битума, придавая им ионные заряды. Гидрофильная часть молекулы эмульгатора располагается в водной фазе (см. рис. 4.1).

Существует три наиболее общих классификационных группировки эмульгаторов битума: катионные, анионные и нейтральные (не обладающие ионным зарядом). В связи с тем, что нейтральные или неионизирующие эмульгаторы (т. е. эмульгаторы, которые поверхностно активны, но не ионизируют в растворе) имеют весьма ограниченное применение в эмульсиях битума, далее мы рассмотрим влияние только катионных и анионных эмульгаторов. Данный вопрос подробно рассмотрен в ряде литературных источников [17, 36, 37, 38 и др.].

Установлено, что при введении в воду ионных эмульгаторов они ионизируют и перемещаются к поверхности битумных капель, которые со всех сторон окружены водной фазой. Пленка, которая образуется в результате объединения на поверхности битумной частицы гидрофобных частей молекул эмульгатора, придает битумным каплям электрический заряд. Знак этого заряда определяется зарядом гидрофобной или углеродистой части молекулы эмульгатора. Если отрицательно заряженные ионы (анионы) эмульгатора обладают гидрофобностью, то

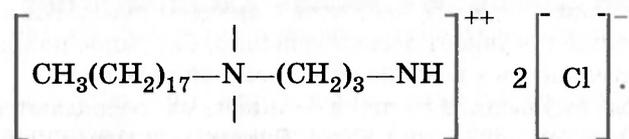
битумные капельки будут нести отрицательный заряд, а эмульсия называется «анионной». Если катионы или положительно заряженные ионы эмульгатора гидрофобны, то битумные частицы несут положительный заряд, а эмульсия относится к типу «катионных».

Типичным анионным эмульгатором является натриевая соль олеиновой кислоты, химическая формула которой имеет следующий вид:



При ионизации натриевой соли олеиновой кислоты гидрофобная углеводородная группа становится частью отрицательно заряженного иона-аниона. Длинные цепочки отрицательно заряженных и гидрофобных углеводородных групп придают битумным каплям в эмульсии отрицательный электрический заряд.

Типичным катионным эмульгатором является соль Duomeen T соляной кислоты, формула которой имеет вид:



Когда соль Duomeen T ионизирует, гидрофобная часть ее молекулы образует часть положительно заряженного иона-катиона. Длинные цепочки положительно заряженных гидрофобных углеводородных групп покрывают поверхность битумных капель, придавая им положительный заряд.

Для того чтобы происходила ионизация эмульгатора и его перевод в соль, дисперсионная среда должна иметь определенный уровень pH, то есть являться кислой либо щелочной. Поэтому при приготовлении анионных эмульсий в воду добавляют щелочь, и наоборот, при приготовлении катионных эмульсий — кислоту (в основном соляную).

Однако в целом и анионная, и катионная — эмульсии электрически нейтральны, так как каждая битумная частица, обладающая зарядом того или иного знака, окружена эквивалентным числом ионов с зарядом противоположного знака, которые находятся в водной фазе.

Знак и величина заряда, который приобретают битумные частицы в эмульсии, играют очень большое значение при рассмотрении технических свойств битумных эмульсий. Характеристики электрического заряда, а также интенсивность поверхностной активности эмульгатора определяют собой поведение битумных капель эмульсии при ее контакте

с различными типами дорожных материалов. Выбор типа эмульсии зависит от ее назначения и заряда поверхности минерального материала. Для основных пород (известняк, доломит) лучше использовать анионные эмульсии, для кислых пород (гранит, кварц) — катионные.

При таком подборе эмульсий их распад происходит достаточно быстро за счет химического взаимодействия поверхности минерального материала и частиц битума.

В целом, как уже отмечалось, анионные эмульсии применяются для покрытия основных заполнителей, и их распад зависит от испарения воды и адсорбции влаги заполнителем. Холодная влажная погода будет задерживать испарение воды из эмульсии, а в связи с этим и распад эмульсии. Любое количество воды, по той или иной причине оказавшееся на дорожном полотне, или внезапный дождь тоже будут замедлять или полностью приостанавливать уже начавшийся распад. Это, естественно, приводит к ухудшению качества дорожных работ. Кроме того, даже в том случае, когда процесс расслоения анионной эмульсии внешне протекает весьма успешно, битумное покрытие сохраняет чувствительность к воздействию влажной погоды.

Катионные эмульсии, в отличие от анионных, распадаются, главным образом, не за счет испарения воды. Битум покрывает заполнитель в основном в связи с сильным ионным притяжением полярных зарядов между положительно заряженными битумными частицами и отрицательно заряженными частицами заполнителя, причем отрицательный заряд характерен для подавляющего большинства дорожных материалов. В связи с тем, что распад катионных эмульсий не зависит от испарения влаги, они могут использоваться как с влажными и охлажденными заполнителями и дорожными покрытиями, так и с теплыми сухими материалами. Эти эмульсии могут быть использованы и при высокой влажности, и при холодной погоде, если температура не падает ниже 5 °С.

Когда катионные эмульсии используются для устройства поверхностной обработки, они могут быть быстро введены в эксплуатацию. Кроме того, значительно уменьшается опасность того, что внезапный дождь смоет еще не затвердевшее покрытие, так как битум очень быстро распределяется на поверхности заполнителя и прочно сцепляется с ней.

4.2. Технология получения и свойства эмульсий

Битумные эмульсии, используемые для дорожного строительства, — это прямые эмульсии, в которых дисперсной фазой является чистый битум или разжиженный. Готовят битумные эмульсии на специальной установке, общий вид которой показан на рис. 4.2.

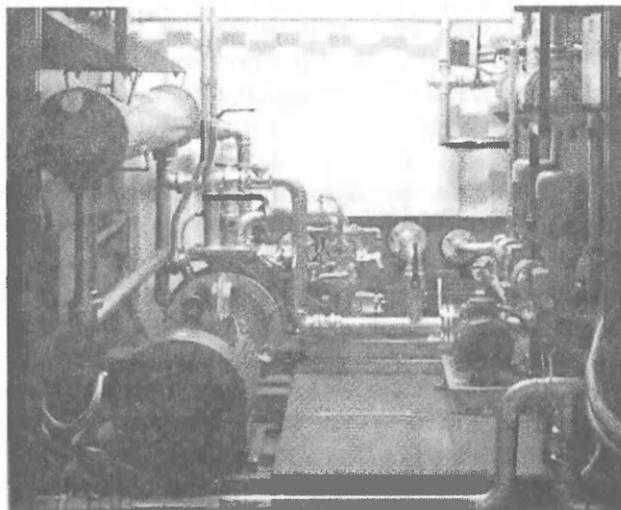


Рис. 4.2. Общий вид установки для получения эмульсий

Установка включает емкости для хранения составляющих, дозаторы, коллоидную мельницу и емкости для готовой продукции.

Качество эмульсии зависит от granulometрии капель битума, его количества, вида и количества эмульгатора, количества кислоты или щелочи (анионная эмульсия), служащих для превращения эмульгатора в соль. Данные факторы и предопределяют физико-химические свойства эмульсии: рН, проводимость, знак заряда, интенсивность электростатического отталкивания, а также технологические свойства: устойчивость, скорость распада, коагисценцию и вязкость.

Унифицированных составов эмульсий не существует. Для каждого вида битума и технологии применения разрабатывается свой состав. Вместе с тем, следует учитывать определенный ряд общих правил [38]:

1) количество кислоты (катионная эмульсия) или основания (анионная), добавляемых в водную фазу, должно быть рассчитано таким образом, чтобы количество эмульгатора, присутствующего в ионизированном виде, было достаточным для создания защитного слоя и в то же время количество эмульгатора не должно превышать уровня, при котором образуется двойной электрический слой;

2) концентрация битума не должна превышать определенный порог за которым теряются технологические свойства. Этот порог составляет примерно 65% битума для анионных эмульсий, 70% битума для катионных эмульсий.

Эмульсия образуется при одновременном введении в мельницу битума и водной фазы. Температура битума выбирается так, чтобы получить вязкость порядка 200 сантипуаз, обычно она составляет:

140 °С для битумов 130/220,

150 °С для битумов 90/130.

Чтобы ограничить пенообразование, температура водной фазы рассчитывается таким образом, чтобы температура эмульсии на выходе из коллоидной мельницы не была выше 95 °С.

Основным технологическим свойством эмульсии является ее устойчивость.

Битумная эмульсия является неустойчивой системой. Считается, что абсолютно устойчивая по отношению к каменным материалам эмульсия не будет представлять никакого интереса для дорожного строительства.

Различают устойчивость двух видов:

– устойчивость при хранении, которая должна быть как можно выше;

– устойчивость по отношению к минеральным материалам, верхние и нижние границы которой обуславливаются технологией применения, в этом случае предпочитают говорить о скорости распада.

Анализируя устойчивость при хранении различают три процесса: отстаивание, образование агрегатов и коагуляцию.

Отстаивание может выражаться либо в осадкообразовании, либо в расслаивании:

– осадкообразование — неоднородность содержания воды по слою эмульсии (содержание воды уменьшается в нижней части);

– расслаивание — обратный процесс.

Отстаивание можно замедлить путем:

– увеличения дисперсности битума эмульсии (уменьшения размера капель битума);

– уменьшения разницы плотности между дисперсной фазой и дисперсионной средой. Битумные эмульсии легко соблюдают это условие, поскольку плотность битума составляет примерно 1,02, иначе обстоит дело с дегтевыми эмульсиями, их плотность близка к 1,25;

– увеличения вязкости дисперсионной среды.

Образование агрегатов — это первая стадия коагуляции.

Частицы слипаются, но не теряют свою индивидуальность. Это явление обратимо.

Сраствивание — это вторая стадия коагуляции. Слипшиеся частицы соединяются, образуя более крупную частицу. Это явление необратимо.

Последние два явления не отделимы друг от друга, наиболее медленное явление определяет скорость распада.

Можно затормозить распад, увеличив содержание эмульгатора и оптимально приблизившись к рН устойчивости, величина которой меняется в зависимости от природы вяжущих и эмульгатора [40]. Для анионной эмульсии недостаточно высокий рН заставляет отступить ионизацию, мыло $R\text{COO}$ стремится превратиться в $R\text{COOH}$, электрическое отталкивание уменьшается, и эмульсия становится неустойчивой. (Аналогичное явление происходит и в катионных эмульсиях, если рН не является достаточно низким.)

Ионная сила среды сильно воздействует на устойчивость эмульсии, и избыток сильного электролита может вызвать неустойчивость. Слишком большие излишки щелочи в анионной эмульсии, кислоты в катионной эмульсии, избыток солей могут вызвать распад.

Например, битумы, кислотность которых была изменена добавкой сильных органических кислот, могут образовать неустойчивые эмульсии при обычных условиях изготовления катионных эмульсий, так как значительная часть этих кислот мигрирует в водную фазу.

Отстаивание эмульсии можно определить путем измерения содержания воды на разных уровнях в пробирке, содержащей эмульсию.

Качество эмульсии и ее эксплуатационная надежность во многом зависят от качества и вида применяемых эмульгаторов. На мировом рынке наибольшее распространение получили эмульгаторы французской фирмы СЕКА.

В настоящее время в работах НАН Беларуси изучены коллоидно-химические свойства водных растворов эмульгаторов Dinoram и Polyram. Тензиометрическими и вискозиметрическими методами определены их критические концентрации мицеллообразования и структурно-реологические характеристики.

Установлено:

– поверхностная активность эмульгатора на основе алкилпропилендиамина (Dinoram) выше, чем алкилпропиленполиамина (Polyram). Критическая концентрация мицеллообразования составляет 0,0041 и 0,0082% соответственно, поэтому при эмульгировании битума концентрации эмульгатора Dinoram и его расход должны быть ниже;

– вязкость водных растворов эмульгатора Dinoram при оптимальных расходах выше, чем эмульгатора алкилпропиленполиамина Polyram, поэтому эмульгатор Dinoram предпочтительнее использовать

для приготовления вязких и полувязких эмульсий, а эмульгатор Polygam — для эмульсий, вязкость которых невелика;

– для получения быстро- и среднераспадающихся битумных эмульсий необходимо использовать эмульгатор Dinoram. Активность эмульгатора марки Dinoram S выше, чем эмульгатора марки Dinoram SL. Однако использование эмульгатора Dinoram SL предпочтительнее, чем Dinoram S, поскольку последний выпускается в пастообразном виде и требует разогрева перед употреблением;

– для получения медленно распадающихся битумных эмульсий необходимо использовать эмульгатор марки Polygam SL.

На основе проведенных исследований разработаны рецептуры битумных эмульсий с использованием эмульгаторов Dinoram и Dinoram и Polygam и окисленного битума для различных видов дорожно-строительных работ [39].

Очень важным свойством битумной эмульсии является скорость ее распада на поверхности минерального материала, что и определяет в значительной степени возможность использования данной эмульсии в той или иной технологии.

Распад катионных эмульсий при соприкосновении с наполнителем происходит сразу же в результате реакции битума с поверхностью каменного материала, причем вода быстро вытесняется с поверхности минерального материала и удаляется. Когда битумная эмульсия входит в контакт с каменным материалом, то в результате взаимодействия активных групп минерального материала с эмульгатором, присутствующим в эмульсии, происходит быстрое уменьшение концентрации эмульгатора в зоне контакта, в результате чего устойчивость эмульсии нарушается и начинается выделение битума.

Для получения битумных эмульсий исходный битум должен обладать определенными физико-химическими свойствами. Это необходимо с целью адаптации эмульсии к требованиям применяемой технологии, к особенностям дорожного движения и климатическим условиям. Поэтому для получения битумных эмульсий используют как чистый битум, так и разжиженный или модифицированный.

Так, для приготовления эмульсий для поверхностных обработок используется битум, который должен обладать специфическими свойствами — иметь высокие адгезионные и когезионные характеристики. Это необходимо для того, чтобы щебень успешно сопротивлялся отрыву под действием транспортной нагрузки и прочно взаимодействовал с битумной пленкой, а битумная пленка не отрывалась от верхнего слоя

дорожного покрытия и не разрушалась под действием механических нагрузок. Для улучшения смачиваемости поверхности щебня битумом достаточно пластифицировать битум разжижителем, но это в свою очередь может привести к утрате когезии вяжущего, отрыву и выбросу щебня. Таким образом, между когезионными и адгезионными свойствами битумного вяжущего должен достигаться компромисс: битум должен быть достаточно жидким, чтобы битумная пленка полностью покрывала щебень, и достаточно прочным, чтобы вяжущее обеспечивало сопротивление динамическим нагрузкам при движении транспорта.

Для улучшения смачиваемости щебня, используемого для поверхностной обработки, ИОНХ НАН Беларуси предложено пластифицировать битум разжижителями на основе нефтепродуктов в количестве 3–5%. Для повышения когезии в вяжущем (прочности битума на разрыв) необходимо использовать модифицированные полимеры битума, или вводить латекс в битумную эмульсию. С целью усиления взаимодействия битума с минеральными материалами предложены различные адгезионные добавки. Институтом «Дорстройтехника» разработан комплекс чистых, пластифицированных, модифицированных эмульсий с применением SBS, SIS полимерных и пластомерных модификаторов, широко используемых сегодня в нашей республике, в России, на Украине.

4.3. Применение битумных эмульсий в дорожном строительстве

В дорожном строительстве битумные эмульсии находят достаточно широкое применение. Можно выделить следующие основные направления применения битумных эмульсий:

1. Подгрунтовка и устройство поверхностных обработок;
2. Устройство тонкослойных покрытий из литых холодных смесей (метод Слари-Сил);
3. Холодные органно-минеральные смеси и асфальтобетоны;
4. Получение бетонов на органно-гидравлических вяжущих (см. разд. 3).

Остановимся несколько подробнее на отмеченных вопросах.

4.3.1. Применение битумных эмульсий для подгрунтовки и устройства поверхностных обработок

Подгрунтовка является важной технологической операцией, предшествующей устройству асфальтобетонного покрытия или поверхностной обработки и обеспечивающая надежное сцепление между слоями. Подгрунтовка осуществляется жидкими битумами или эмульсией. Важ-

ное преимущество эмульсии состоит в ее пониженной вязкости. Это обеспечивает ее равномерное распределение по старому покрытию и экономии битума в пределах 20–30%. Некоторые опасения вызывает применение катионных эмульсий в качестве грунтового материала на цементобетонных покрытиях. Полагают, что наличие соляной кислоты вызовет разрушение цементного камня и потерю адгезии. С научной точки зрения данный вопрос до конца не прояснен. Однако, как показывает практика, существенного негативного влияния эмульсия на цементобетон не оказывает. По-видимому, это связано с небольшим содержанием кислоты в составе эмульсии.

Поверхностные обработки дорожных покрытий автомобильных дорог общего пользования устраиваются с целью:

- восстановления сцепных свойств между колесом автомобиля и дорожным покрытием;
- восстановления водонепроницаемости дорожного покрытия в течение периода его эксплуатации;
- создания профилактического слоя износа в период эксплуатации покрытия.

Поверхностные обработки следует выполнять в сухую погоду при среднесуточной температуре воздуха не ниже плюс 10 °С.

В зависимости от транспортной нагрузки и состояния дорожного покрытия используются поверхностные обработки следующих структур и типов:

- одиночная поверхностная обработка (вяжущее/щебень — В/Щ);
- двойная поверхностная обработка (В/Щ/В/Щ);
- зубчатая поверхностная обработка (одиночная с двойной россыпью щебня, В/Щ/Щ);
- поверхностная обработка типа «бутерброд» (Щ/В/Щ).

Расход эмульсии и щебня зависит от типа обработки, концентрации эмульсии и размера щебня [40] (таблица 4.1).

Таблица 4.1

Нормы расхода щебня и эмульсии при устройстве одиночной поверхностной обработки

Фракция щебня, мм	Расход эмульсии, кг/м ²		Расход щебня, кг/м ²
	Концентрация эмульсии 65%	Концентрация эмульсии 70%	
3/5	1,100	1,000	7,0–9,0
5/10	1,700	1,600	11,5–13,5
10/15	2,000	1,900	15,0–20,0

Устройство поверхностной обработки производят комплектом машин, включающим:

- автогудронатор;
- навесной, прицепной или самоходный щебнераспределитель;
- самоходные комбинированные или пневматические катки.

Наиболее высокого качества можно добиться путем использования специальных комбайнов французской фирмы «Секмайер», позволяющих одновременно вести распределение эмульсии, щебня и укатку укладываемого слоя поверхностной обработки (рис. 4.3).

Для уплотнения поверхностных обработок используют пневмошинные или комбинированные катки с давлением в шинах $7-8 \text{ кг/см}^2$.

Количество проходов по одному следу принимается в диапазоне от 3 до 5. Скорость уплотнения для первых трех проходов — 3 км/час, для следующих — 10 км/час.

Уплотнение следует начинать в момент начала распада эмульсии, определяемый визуально по изменению цвета эмульсии от коричневого к черному.

Одиночные поверхностные обработки с двойной россыпью уплотняются послойно после нанесения каждого слоя щебня.

Двойные поверхностные обработки уплотняются только после нанесения щебня второго слоя.

Поверхностная обработка типа «бутерброд» уплотняется сразу после нанесения щебня второго слоя.

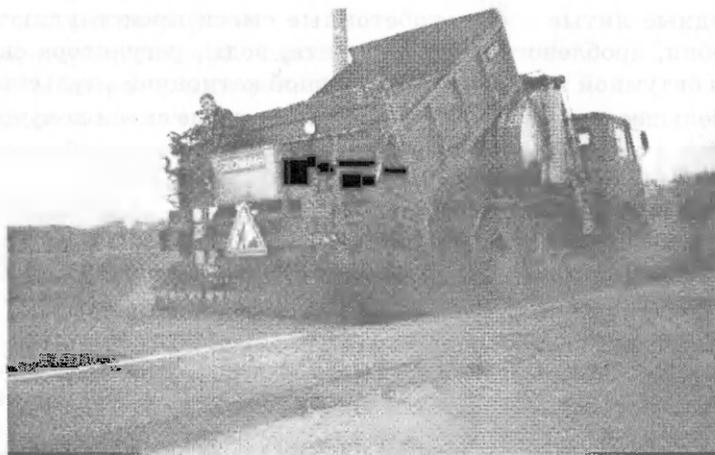


Рис. 4.3. Устройство поверхностной обработки комплектом «Секмайер»

Качество устроенной поверхностной обработки зависит от погодных-климатических условий ее формирования, транспортной нагрузки, скорости движения транспорта и своевременных мер эксплуатирующей организации по созданию нормальных условий ее формирования. При этом должны быть обеспечены следующие условия:

- После окончательного уплотнения поверхностной обработки через 1 час слой поверхностной обработки открывается для движения. Скорость движения в течение 7 суток ограничивается 40 км/час.

- Появившийся на поверхности излишний щебень должен регулярно убираться механическими щетками для предотвращения разрушения формирующейся структуры поверхностной обработки.

- Окончательное формирование завершается в течение первых шести недель от момента устройства поверхностной обработки при температуре покрытия в полдень не ниже плюс 10 °С.

Если в период формирования поверхностной обработки температура поверхности покрытия достигает более плюс 35 °С и возникает опасность отрыва щебня от покрытия, по поверхности устроенной поверхностной обработки должен быть распределен мелкий щебень: 2–4, 3–5 мм для предотвращения налипания вяжущего на колеса транспортных средств и срыва слоя поверхностной обработки. Норма расхода щебня назначается в пределах 2,0–4,0 кг/м² покрытия.

4.3.2. Устройство тонкослойных покрытий из литых холодных смесей (метод Слари-Сил)

Холодные литые асфальтобетонные смеси представляют собой смесь щебня, дробленого песка, цемента, воды, регулятора скорости распада и битумной или битумополимерной катионной эмульсии.

Наибольшее распространение литые холодные смеси получили для устройства слоев износа асфальтобетонных покрытий толщиной 10–15 мм (метод Слари-Сил).

Для устройства подобных слоев используются специализированные комбайны, представляющие собой одновременно асфальтобетонный завод и асфальтоукладчик, смонтированные на шасси трех-четырехосного грузовика или двух-трехосном полуприцепе.

В Европе наибольшее распространение получили комбайны немецких фирм «Brening» или «OAT» (рис. 4.4).

В стандартный комплект оборудования для производства и укладки литого холодного асфальтобетона должны входить следующие узлы и агрегаты:

- емкость для готовой минеральной части;



Рис. 4.4. Устройство эмульсионно-минерального слоя комбайном фирмы “ОАТ”

- емкость для эмульсии;
- емкость для водной фазы;
- емкость для регулятора скорости распада;
- емкость для цемента;
- автономный двигатель для бесступенчатого гидропривода всех нижеперечисленных систем:
 - дозатор минеральных материалов;
 - дозатор эмульсии;
 - дозатор водной фазы;
 - дозатор регулятора скорости распада;
 - гидровибратор минеральной части;
 - гидропривод смесителя;
 - дозатор цемента;
 - гидропривод распределителя;
 - блок управления с программируемыми контроллерами для управления пропорциональным совместным или сепаратным приводом, позволяющий производить пропорциональное или сепаратное дозирование минеральных материалов, эмульсии, водной фазы, регулятора скорости распада, цемента;
 - ящичный распределитель с полосой укладки 2,0–3,0 метра, оснащенный системой гидропривода для:
 - реверсивного и сепаратного вращения перемешивающих устройств;
 - изменения частоты вращения, подъема-опускания.

Необходимость применения подобных технологических комплексов обусловлена применением быстрораспадающихся катионных эмульсий, обеспечивающих быстрое формирование слоя и возможность открытия движения через 20–60 минут.

Холодные литые асфальтобетонные смеси применяются также для ремонта выбоин и ликвидации колеи в полосе наката асфальтобетонных покрытий путем их заполнения литой смесью.

По зерновому составу минеральной части литые холодные асфальтобетонные смеси подразделяются на два типа в соответствии с требованиями, изложенными в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Зерновой состав холодных литых смесей

Размеры, мм	Тип I Содержание частиц мельче данного размера, % по массе	Тип II Содержание частиц мельче данного размера, % по массе	Точность дозирования, % по массе
10	100	100	
5	90–100	70–90	±5%
2,5	65–90	45–70	±5%
1,25	45–70	28–50	±5%
0,63	30–50	19–34	±5%
0,315	18–30	12–25	±4%
0,14	10–21	7–18	±3%
0,071	5–10	5–10	±2%

Литые холодные асфальтобетонные смеси с минеральной частью типа I рекомендуется использовать для устройства слоев износа на покрытиях автомобильных дорог III–V категорий.

То же с минеральной частью типа II — для устройства слоев износа на автомобильных дорогах I и II категорий, а также для всех случаев ликвидации колеи на асфальтобетонных покрытиях.

При применении модифицированных эмульсий в качестве модификаторов могут использоваться дивинилстирольные, стирол-бутадиен-стирольные блок-сополимеры или пластомеры типа этиленвинилацетатов и этиленметилакрилатов по техническим условиям заводов-изготовителей.

Содержание модификатора в остаточном вяжущем модифицированной эмульсии должно быть в пределах 2,5–5,0% по массе битума.

В качестве регулятора скорости распада литой холодной асфальтобетонной смеси должны применяться хлористые или уксуснокислые соли моноаминов, полиаминов, амидоаминов или четвертичные соли аммония по техническим условиям заводов-изготовителей.

Количество вводимого регулятора скорости распада относительно массы вводимой модифицированной эмульсии должно лежать в пределах 0–2% по массе эмульсии. Количество регулятора скорости распада корректируется в полевых условиях, непосредственно в момент производства работ. Количество регулятора скорости распада зависит от температуры покрытия, температуры эмульсии и минеральных материалов, наличия или отсутствия ветра и назначается окончательно на месте руководителем работ.

4.3.3. Холодные органно-минеральные смеси и асфальтобетоны

На основе эмульсий могут быть получены холодные смеси, аналогичные классическому холодному асфальтобетону, используемые для ремонта и строительства дорожных покрытий, особенно в неблагоприятный период года. Холодные смеси можно разделить на две основные группы [40]:

1. Гравийно-эмульсионные смеси;
2. Холодные складированные асфальтобетонные смеси.

Гравийно-эмульсионная смесь (ГЭС) представляет собой смесь минерального материала определенного зернового состава и катионной битумной эмульсии, полученную путем их смешения в стационарной или мобильной установке. В необходимых случаях в смесь может вводиться вода, стабилизатор, цемент.

В зависимости от вида используемого песка гравийно-эмульсионные смеси подразделяются на следующие типы:

- ГЭС-1 — при использовании песка из отсевов дробления;
- ГЭС-2 — при использовании природного песка.

Основное назначение ГЭС — устройство покрытий дорог IV–V категорий.

Для производства гравийно-эмульсионных смесей используются двухвальные и одновальные лопастные смесители периодического или непрерывного действия, оснащенные системой дозирования минеральных материалов, эмульсии, воды и цемента.

Гравийно-эмульсионные смеси могут укладываться сразу после приготовления или храниться в штабелях высотой не более 2 метров на складах до 4 месяцев с момента производства.

ГЭС укладывают толщиной от 60 до 250 мм, при толщине слоя до 100 мм — в один слой, более 100 мм — в несколько последовательных слоев.

Зерновой (гранулометрический) состав минеральной части приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Гранулометрический состав смеси

Конструктивный слой	Максимальная крупность зерен щебня (гравия), мм	Содержание, % по массе			Марка по дробимости (прочность), не менее	
		Зерен крупнее 5 мм, не более	Зерен мельче 0,63 мм, не менее	Зерен мельче 0,071 мм, не менее		
Покрытие	20	65	24	8	800	
	20	50	38	10	400	
	15	35	50	12	300	
	10	35	50	12	200	
Основание	40	70	12	Не нормируется	800	
	40	55	20		400	
	20	35	30		4	300
	15	35	30		4	200

В зависимости от интенсивности движения на участке дороги, по уложенному и уплотненному гравийно-эмульсионному слою обязательно устройство кольматационного слоя, поверхностной обработки или слоя горячего плотного асфальтобетона в соответствии с таблицей 4.4.

Таблица 4.4

Интенсивность движения грузовых автомобилей общей массой с грузом > 5 т по одной полосе, авт/сут	Вид защитного слоя
до 20	Кольматационный слой Одинокная поверхностная обработка Поверхностная обработка В/Щ/Щ Двойная поверхностная обработка Плотный горячий асфальтобетон
20–50	
50–150	
150–300	
более 300	

Технология немедленной укладки предусматривает использование специального смесителя-асфальтоукладчика, который совмещает в движении по основанию функции смесителя и укладчика смеси. Минеральная часть подается в движении в приемный бункер, эмульсия в расходную емкость.

Смеситель-асфальтоукладчик осуществляет в одну технологическую операцию дозирование-укладку и уплотнение гравийно-эмульсионной смеси с производительностью 250–300 тонн/час.

Ширина полосы укладки 2,0–4,5 метра. Толщина слоя, укладываемого за один проход, — от 20 до 200 мм.

Технология немедленной укладки позволяет использовать эмульсии на вязких нефтесмесах марок БНД (БН) 60/90, БНД (БН) 90/130, БД 60/90, БД 90/130 и обеспечивает получение высокопрочного покрытия с механическими характеристиками, равнозначными горячему асфальтобетону, и не требующего длительного формирования под движением.

Технология с предварительным хранением гравийно-эмульсионной смеси на складе в отдельные операции производство и укладку смеси, с возможностью хранения готовой гравийно-эмульсионной смеси на складе сроком до 4 месяцев.

После распределения гравийно-эмульсионной смеси автогрейдером или асфальтоукладчиком по уложенному слою допускается пропуск построечного или транзитного автотранспорта.

Уплотнение гравийно-эмульсионных смесей производится по схеме «от кромки – к середине покрытия».

При уплотнении гравийно-эмульсионных смесей толщиной слоя в плотном теле до 100 мм рекомендуется использовать катки на пневматических шинах при внутреннем давлении в пневматике 5–7 кг/см².

При уплотнении гравийно-эмульсионных смесей толщиной слоя в плотном теле более 100 мм следует использовать пневматические катки для первичного уплотнения, вибрационные или комбинированные катки для последующего уплотнения.

Скорость движения катков при уплотнении: пневматические и комбинированные — 5–6 км/час; вибрационные — 2–3 км/час.

Количество проходов катков по одному следу устанавливается пробной укаткой и должно быть не менее 20 — для вибрационных, 30 — для пневматических.

После укладки и уплотнения верхнего слоя из гравийно-эмульсионной смеси на его поверхность следует немедленно наносить кольматационный защитный слой.

Кольматационный слой устраивается в целях защиты верхнего слоя, устранения сцепления покрытия в контактной зоне с колесом движущегося транспорта, обеспечения гидроизоляции гравийно-эмульсионного слоя и пароотделения влаги.

Холодные складированные асфальтобетонные смеси предназначены для круглогодичного ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог III–V категорий при температуре воздуха не ниже минус 5 °С.

Холодные складированные асфальтобетонные смеси представляют собой смесь щебня, песка из отсевов дробления и катионной битумной

эмульсии, взятых в определенном соотношении, приготовленных в установке и укладываемых в конструктивный слой дорожной одежды в холодном состоянии.

Холодные складированные асфальтобетонные смеси могут упаковываться в герметичную тару или храниться на складе в открытых штабелях.

Срок хранения холодных складированных асфальтобетонных смесей в герметичной таре до 6 месяцев, в штабелях — до 3 месяцев.

По гранулометрическому составу минеральной части холодные складированные асфальтобетонные смеси подразделяются на мелкозернистые с наибольшим размером зерен 5 или 6 мм и среднезернистые с наибольшим размером зерен 10–12 мм или 15–16 мм в зависимости от используемого производителем щебня размера сит.

Гранулометрический состав минеральной части этих смесей должен соответствовать требованиям таблицы 4.5.

Таблица 4.5

Гранулометрический состав смеси

Размеры, мм	Количество частиц мельче данного размера, % по масс		
	Минеральная часть, 0–5 мм	Минеральная часть, 0–10 мм	Минеральная часть, 0–15 мм
15			95–100
10		95–100	45–70
5	95–100	25–50	20–70
2,5	5–25	5–25	5–25
1,25	5–15	5–15	5–15
0,63	4–10	4–10	4–10
0,315	3–6	3–6	3–6
0,14	2–5	2–5	2–5
0,071	0–4	0–4	0–4

Для производства холодных складированных асфальтобетонных смесей используются катионные битумные эмульсии на чистом пластифицированном битуме со средней скоростью распада, соответствующей требованиям СТБ 1245–00 для марок ЭБК–С–60, ЭБК–С–65.

Ориентировочное содержание остаточного вяжущего в холодных складированных асфальтобетонных смесях назначается в пределах:

- для смесей 0–15 мм — 4,5–5,5%;
- для смесей 0–10 мм — 5,0–5,5%;
- для смесей 0–5 мм — 5,5–6,0%.

4.3.4. Получение бетонов на органо-гидравлических вяжущих

Вопросы классификации, структурообразования и технологии получения бетонов на ОГВ подробно рассмотрены в разделе 3. Здесь остановимся только на некоторых аспектах технологии получения бетонов на ОГВ путем обработки фрезерованного асфальтобетона битумной эмульсией и цементом. По аналогии с [40] подобные смеси будем именовать как холодные регенерированные асфальтобетонные смеси. Холодные регенерированные асфальтобетонные смеси приготавливаются в стационарных или мобильных установках, специальных смесителях-укладчиках и укладываются в конструктивные слои дорожной одежды в холодном состоянии. Возможны две принципиальные технологические схемы:

1. Смесь готовят в стационарных или передвижных смесителях с последующей доставкой на объект, укладкой и уплотнением (ремикс в установке);

2. Смесь готовят на месте с помощью специальных фрез-смесителей с последующим ее распределением по покрытию и уплотнением (ремикс на месте).

В первом случае асфальтобетонный гранулят для производства холодных регенерированных асфальтобетонных смесей приготавливают путем прямого фрезерования существующего покрытия «холодными» фрезами с последующей отгрохоткой фракции крупнее 40 мм или переработкой асфальтобетонного лома на стационарных или мобильных базах, оснащенных дробильно-сортировочным оборудованием с дробилками ударного или центробежно-ударного действия.

В последнем случае максимальная крупность асфальтобетонного гранулята принимается равной 20 мм.

При прямом фрезеровании покрытий «холодными» фрезами рекомендуется использовать фрезы, ротор которых имеет направление вращения «сверху вниз» к фрезеруемому покрытию. При фрезеровании такими типами фрез асфальтобетонный гранулят имеет однородный гранулометрический состав, малое содержание пылеватых частиц, полное отсутствие гранул размером более 40 мм и может быть использован в производстве холодных регенерированных асфальтобетонных смесей непосредственно без последующей прогрохотки. Примером подобных механизмов являются фрезы фирмы «Wirtgen» (рис. 4. 5).

Покрытия и основания из холодного регенерированного асфальтобетона следует укладывать при температуре воздуха не ниже плюс 5 °С. Допустимо производить укладку при морозящем дожде. Осенью следует



Рис.4. 5. Общий вид фрезы фирмы “Wirtgen”

заканчивать укладку холодной регенерированной смеси не позднее 2–3 недель до наступления устойчивых отрицательных температур.

Уложенная холодная регенерированная асфальтобетонная смесь может уплотняться немедленно или с отнесением периода начала уплотнения до 4 часов, если есть возможность позволить избыточной воде испаряться из уложенной смеси.

Технические средства уплотнения и схема их работ выбираются в зависимости от толщины уложенного материала в расчете на плотное тело. Группа катков для уплотнения холодного регенерированного асфальтобетона должна состоять из виброкатка с возмущающей силой 30–50 кН, частотой 40–50 Гц, амплитудой 0,4–0,8 мм или комбинированного катка массой 7,0–12,0 тонн с регулируемым давлением в шинах в пределах 2,0–8,0 кг/см².

При уплотнении слоев холодного регенерированного асфальтобетона толщиной до 80 мм схема работы уплотняющих средств должна быть следующей:

- пневмоколесный каток впереди — 8–12 проходов;
- виброкаток или комбинированный каток сзади — 4–6 проходов.

При уплотнении слоев холодного регенерированного асфальтобетона толщиной до 120 мм в один слой схема уплотнения меняется на обратную:

- виброкаток или комбинированный каток впереди — 4–6 проходов;
- пневмоколесный каток сзади — 8–12 проходов.

Количество проходов катков по одному следу устанавливается пробной укаткой и должна быть не ниже указанных значений.

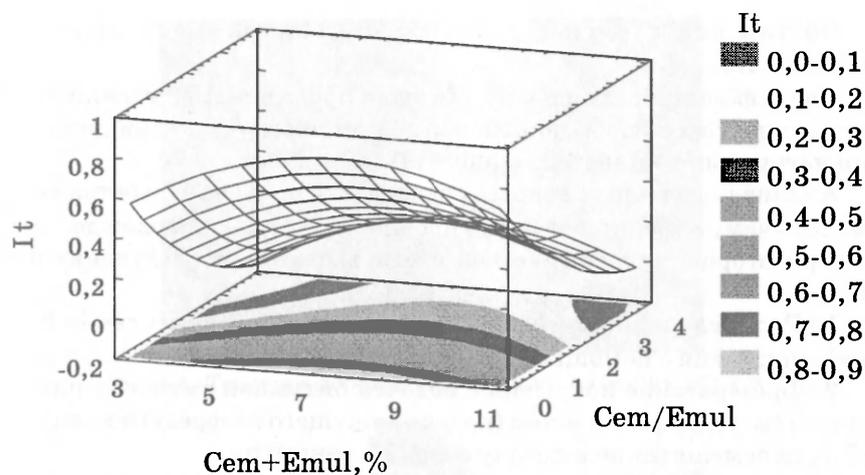


Рис. 4.6. Зависимость индекса температурной трещиностойкости от количества битумной эмульсии и цемента и соотношения цемент-эмульсия

По завершении уплотнения холодного регенерированного асфальтобетона движение транзитного и построечного транспорта по нему открывается незамедлительно.

Устройство последующих слоев по уплотненному холодному регенерированному асфальтобетону осуществляется не ранее 2–3 недель с целью полного испарения воды и формирования материала.

В РБ устройство покрытий из данного материала было осуществлено в 2000 году на дороге Новый Двор–Шершуны–Среднее. Состав применяемой смеси был следующим: катионная битумная эмульсия — 3%, портландцемент марки 400 — 5%, вода — 2%, асфальтобетонный гранулят — 90%.

Данный состав был выбран с точки зрения обеспечения оптимальной трещиностойкости. Как видно из данных рис. 4.6 оптимальной трещиностойкостью обладают материалы с содержанием эмульсии 3%. При этом количество цемента может колебаться от 3 до 8%.

Такое положение обусловлено тем, что цемент увеличивает межфазное взаимодействие и повышает долговременную прочность. С точки зрения экономических соображений был принят состав с содержанием 3% эмульсии и 5% цемента.

Смеси готовили на стационарном бетоносмесителе СБ 50 по холодной технологии. Укладка производилась самоходным асфальтоукладчиком, уплотнение пневмо- и гладковальцевыми катками.

Общий вид дороги и текстура покрытия представлены на рис. 4.7 и 4.8.

После формирования покрытия были проведены испытания общего модуля упругости дорожной одежды с помощью установки динамического нагружения «Динатест» (рис. 4.9).

Анализ полученных данных показал, что полученный бетон не уступает горячему асфальтобетону по прочности в дорожной одежде.

При второй технологической схеме выполняют следующие операции:

1. Распределение по покрытию цемента в количестве 3–8% от массы покрытия с помощью специальных механизмов;
2. Фрезерование покрытия с подачей битумной эмульсии или вспененного битума увлажнением (подача вяжущего на фрезу) в количестве 5–7%, перемешивание и подачу смеси на покрытие;
3. Распределение полученной смеси по ширине покрытия автогрейдером и уплотнение.

Здесь основным является второй пункт. Выполнение всех операций данного пункта производят с помощью специальных машин—комбайнов фирмы «Wirtgen» (рис. 4.10).

Характерно, что данные технологические комплексы позволяют вместо эмульсий использовать и их разновидность — вспененные битумы. В этом случае синхронно с фрезой движется автогудронатор (см. рис. 4.10), соединенный с вспенивающей камерой, где происходит контакт горячего битума и воды. Естественно, стоимость работ существенно снижается.



Рис.4.7. Общий вид дороги Новый Двор-Шершуны-Среднее

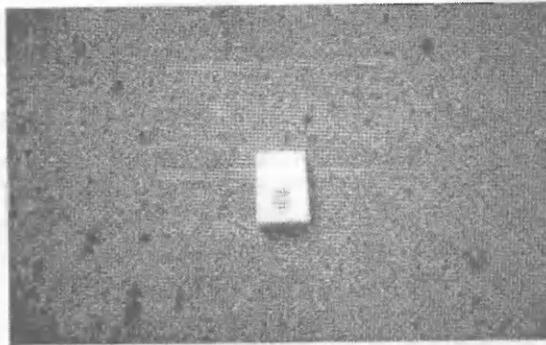


Рис.4.8. Текстура дорожного покрытия из бетона на ОГВ



Рис. 4.9. Оценка прочности дорожной одежды с покрытием из бетона на ОГВ



Рис. 4. 10. Технологический комплекс для приготовления бетонов на ОГВ на месте

Подобные машины обладают высокой производительностью (до метров в минуту) и позволяют получить достаточно качественные смеси. Их использование целесообразно для проведения ремонтов дорог невысоких категорий при больших расстояниях до стационарных дорожных баз. Недостатком данной технологии является высокая стоимость (расход горючего до 200 л в час, вес машины 37 тонн) и невозможность обеспечить стабильное качество (свойства старого покрытия могут сильно отличаться по длине). В РБ данная технология пока не апробирована.

Сама конструкция дорожной одежды и толщины слоев должны назначаться по расчету в зависимости от состава и интенсивности движения, а также расчетных характеристик бетона.

Для внедрения предлагаются три конструкции дорожных одежд:

1. Дорожное покрытие из асфальтогранулобетона на композиционном вяжущем толщиной 4–8 см (по расчету с учетом нижеизложенной методики) с одиночной поверхностной обработкой. Данный вид конструкции применяют, если коэффициент морозостойкости бетона выше 0,8 и индекс температурной трещиностойкости выше 0,6.

2. Дорожное покрытие из асфальтогранулобетона на композиционном вяжущем толщиной 4–8 см с двойной поверхностной обработкой. Данный вид конструкции применяют, если коэффициент морозостойкости бетона составляет 0,6–0,8 и индекс температурной трещиностойкости 0,4–0,6. При сохранении устойчивости к пластическим деформациям.

3. Дорожное покрытие из асфальтогранулобетона на композиционном вяжущем толщиной 4–8 см с устройством слоя асфальтобетона толщиной 3–5 см. Данный вид конструкции применяют, если коэффициент морозостойкости бетона ниже 0,6 и индекс температурной трещиностойкости 0,3–0,4.

Выбор конструкции производят путем оценки свойств материала на стадии подбора состава и проекта.

В 2000 году силами ПРСО Минскоблдорстрой при научном сопровождении БГПА было устроено около 4,7 км дорожных покрытий из подобных смесей на ряде объектов Минской области. В результате было сэкономлено 72 тонны мазута, 266 тонн битума, 1826 м³ щебня, 9292 кВт·ч. электроэнергии. Экономический эффект составил около 61 тыс. у. е.

4.4. Стандарты и нормативные документы

На битумные эмульсии в РБ разработан стандарт СТБ 1245–00 «Эмульсии битумные катионные».

В зависимости от скорости распада, содержания остаточного вяжущего и вида исходного вяжущего катионные битумные эмульсии подразделяются на марки:

- ЭБК–Б–60 (ЭБКМ–Б–60) — эмульсия битумная катионная быстро-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 58,0 до 62,0% ;
- ЭБК–Б–65 (ЭБКМ–Б–65) — эмульсия битумная катионная быстро-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 63,0 до 67,0% ;
- ЭБК–Б–70 (ЭБКМ–Б–70) — эмульсия битумная катионная быстро-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 68,0 до 72,0% ;
- ЭБК–С–60 (ЭБКМ–С–60) — эмульсия битумная катионная средне-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 58,0 до 62,0% ;
- ЭБК–С–65 (ЭБКМ–С–65) — эмульсия битумная катионная средне-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 63,0 до 67,0% ;
- ЭБК–С–70 (ЭБКМ–С–70) — эмульсия битумная катионная средне-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 68,0 до 72,0% ;
- ЭБК–М–55 (ЭБКМ–М–55) — эмульсия битумная катионная медленно-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 53,0 до 57,0% ;
- ЭБК–М–60 (ЭБКМ–М–60) — эмульсия битумная катионная медленно-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 58,0 до 62,0% ;
- ЭБК–М–65 (ЭБКМ–М–65) — эмульсия битумная катионная медленно-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 63,0 до 67,0% ;
- ЭБК–М–70 (ЭБКМ–М–70) — эмульсия битумная катионная медленно-распадающаяся с содержанием остаточного вяжущего от 68,0 до 72,0% .

В зависимости от марки эмульсии применяют:

- быстрораспадающиеся — для устройства поверхностных обработок, подгрунтовки;
- среднераспадающиеся — для приготовления эмульсионно-минеральных смесей для ямочного ремонта, устройства поверхностных обработок;
- медленнораспадающиеся — для приготовления складированных эмульсионно-минеральных и гравийно-эмульсионных смесей, бетонов на ОГВ, устройства слоев износа из холодного литого асфальтобетона, обеспыливания.

Технические требования к битумным эмульсиям представлены в таблице 4.6.

При выполнении технологических операций следует руководствоваться РД 0219.1.09.–99.

Таблица 4.6

Наименование показателя	Норма для эмульсии марки									
	ЭБК-Б-65 (ЭБКМ-Б-60)	ЭБК-Б-65 (ЭБКМ-Б-65)	ЭБК-Б-70 (ЭБКМ-Б-70)	ЭБК-С-60 (ЭБКМ-С-60)	ЭБК-С-65 (ЭБКМ-С-65)	ЭБК-С-70 (ЭБКМ-С-70)	ЭБК-М-55 (ЭБКМ-М-55)	ЭБК-М-60 (ЭБКМ-М-60)	ЭБК-М-65 (ЭБКМ-М-65)	ЭБК-М-70 (ЭБКМ-М-70)
1. Внешний вид	Однородная жидкость темно-коричневого (черного) цвета									
2. Содержание вяжущего эмульгатором	58,0-62,0	63,0-67,0	68,0-72,0	58,0-62,0	63,0-67,0	68,0-72,0	53,0-57,0	58,0-62,0	63,0-67,0	68,0-72,0
3. Однородность по остатку на сите 063, не более, %	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
4. Условная вязкость по вискозиметру Энглера (ВУ), при 25 С, Е, не более	7	12	—	7	12	—	3	7	12	—

5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ

5.1. Литые асфальтобетонные смеси и асфальтобетон

Основное отличие литой асфальтобетонной смеси состоит в повышенном содержании битума (до 12%) и минерального порошка (до 25%). Благодаря этому смесь имеет повышенную технологическую подвижность и не требует уплотнения.

Для повышения устойчивости к пластическим деформациям литые асфальтобетоны готовят на битумах повышенной вязкости (пенетрация 15–40 °П). В РБ используют менее вязкие битумы (40–130 °П), однако в качестве наполнителя используется старый фрезерованный асфальтобетон, компенсирующий снижение вязкости битума.

В связи с тем, что в литых смесях используются битумы повышенной вязкости, а также с целью обеспечения требуемой технологической подвижности литые смеси готовят при повышенной температуре (180–220 °С). Смесей можно готовить в обычных асфальтосмесительных установках, однако время перемешивания должно быть увеличено на 25–50% по сравнению с традиционной горячей смесью. Фирма «Вибау» (Германия) для приготовления литых смесей выпускает специальные смесители, отличающиеся вертикальным расположением валов.

Литая смесь имеет пониженную вязкость и легко расслаивается. Кроме того возникает проблема сохранения высокой рабочей температуры при доставке на объект. Поэтому литые смеси доставляются к месту производства работ в специальных автосмесителях — термосах (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Оборудование для доставки и распределения литой смеси

Литые асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны имеют ряд достоинств, к которым можно отнести:

1. В связи с повышенной подвижностью смеси отсутствует необходимость уплотнения. Достаточно распределить смесь и после ее остывания можно открывать движение транспорта.

2. При проведении ремонтных работ нет необходимости производить подгрунтовку карты. Укладку смеси можно осуществлять при температурах минус 15–20 °С.

3. Водонасыщение асфальтобетона близко к нулю, что обеспечивает его высокую долговечность.

В то же время литой асфальтобетон имеет и ряд недостатков, сдерживающих его применение, основными из которых являются:

1. Технологические сложности, обусловленные необходимостью поддержания высокой рабочей температуры и предотвращения расслаивания.

2. Повышенная скользкость и низкая устойчивость к пластическим деформациям.

3. Необходимость удаления литого асфальтобетона при укладке нового слоя асфальтобетонного покрытия.

Данные недостатки привели к тому, что литой асфальтобетон используется в основном для проведения текущего ремонта асфальто- и цементобетонных покрытий.

С целью частичного устранения отмеченных недостатков и расширения использования литых смесей важно правильно подобрать состав смеси. Здесь следует руководствоваться принципом оптимального сочетания прочности и деформативности. При подборе состава важно определить оптимальное соотношение битум–минеральный порошок. Для этого целесообразно использовать методики, разработанные в БНТУ и позволяющие на основе минимума экспериментов установить оптимальную зону соотношения компонент (рис. 5.2).

В последнее время с целью ускорения технологического цикла и повышения качества бетона предлагаются некоторые новые составы и технологии. К одной из них можно отнести вибролитые смеси [41].

С этой целью разработан специальный метод проектирования оптимальной рецептуры смеси, учитывающей конкретные характеристики (свойства) исходных материалов, условия строительства и эксплуатации; технологию ее приготовления, транспортирования и укладки. Состав смеси следующий:

Наибольший размер частиц наполнителя, мм — 20

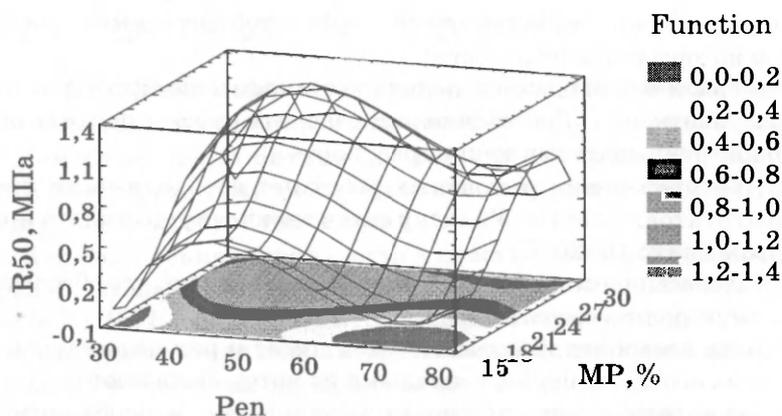


Рис. 5.2. Зависимость прочности литого асфальтобетона от вязкости битума и количества минерального порошка

Содержание, % от массы:

частиц крупнее 5 мм — 50–55

асфальтовяжущего вещества (Б+Мч) — 20–25

Фазовый состав асфальтовяжущего вещества (Б/Мч) — 0,4–0,55

Асфальтовяжущее вещество (Б+Мч) — смесь битума (Б) и мелкодисперсных минеральных частиц мельче 0,071 мм (Мч).

Фазовый состав асфальтовяжущего вещества (Б/Мч) — отношение количества битума к количеству минеральных частиц мельче 0,071 мм.

По консистенции вибролитая смесь представляет собой вязко-пластичную массу, которую можно выпускать практически на любой асфальтосмесительной установке периодического действия, перевозить в кузове автомобиля-самосвала, не опасаясь расслоения, укладывать и уплотнять рабочими органами обычного асфальтоукладчика.

Смесь насыщена зернистым наполнителем, который покрыт относительно толстым слоем асфальтового вяжущего вещества. Под действием виброплиты (вибротрамбующего бруса) асфальтоукладчика зерна быстро занимают упорядоченное положение в подвижной среде концентрированного асфальтового раствора. Происходит сближение частиц, перераспределение и выравнивание молекулярного силового поля с переходом структуры в состояние кинетического равновесия. При этом слой покрытия становится настолько плотным, что в доуплотнении не нуждается. Поэтому при строительстве покрытий из вибролитых смесей дополнительно уплотнять слой катками не нужно. С понижением температуры смеси с 200 °С до температуры воздуха

покрытие затвердевает и приобретает свойства сдвигоустойчивого и гибкого монолита, по которому может быть сразу открыто движение [42].

Практика показала, что наилучшие условия доставки вибролитой смеси обеспечивают машины грузоподъемностью не менее 10 т с кузовом, имеющим задний борт, обогрев выхлопными газами, тент, подъемное устройство, обеспечивающее постепенное увеличение угла с фиксацией кузова в любом рабочем положении, устройство, встряхивающее кузов для освобождения его от налипшей смеси.

Вибролитую смесь изготавливают в соответствии со специальным технологическим регламентом, учитывающим специфику конкретного производства [42].

Температура смеси должна быть в пределах 190–200 °С при температуре воздуха выше +10 °С и не ниже 220 °С при температуре воздуха от +10 °С до +5 °С. Хранить смесь в обычном накопительном бункере без обогрева нельзя, так как при остывании она теряет подвижность.

С завода вибролитую смесь транспортируют при температуре воздуха выше +10 °С и расположении места укладки в 40–60 мин езды от асфальтобетонного завода в тентованных кузовах автомобилей-самосвалов. При температуре воздуха от +10 °С до +5 °С и значительном отдалении объекта от АБЗ смесь перевозят в термосах-миксерах.

Битум должен иметь следующие свойства:

глубина проникания иглы при +25 °С — 40–90

температура размягчения по методу КиШ, °С, не менее –51

температура вспышки, °С, не ниже –240

Устройство покрытия производят асфальтоукладчиком. Процесс устройства покрытия завершают распределением и втапливанием черного щебня. Его расход составляет 5–6 кг/м². Щебень распределяют в одну щебенку, которую после остывания покрытия до 50 °С втапливают легким катком. Невтопившийся щебень сметают с поверхности.

Для ускорения ввода покрытия в эксплуатацию может быть рекомендовано искусственное орошение поверхности холодной водой при помощи поливочно-моечной машины.

Разновидностью литых асфальтобетонных смесей являются холодные литые смеси, применение которых было рассмотрено в разделе 4.

В РБ разработан стандарт СТБ 1257–00 «Смеси битумоминеральные горячие литые и литой асфальт».

В зависимости от жесткости смеси (по показателю вдавливания штампа) делятся на жесткие (глубина вдавливания штампа 1–5 мм), полужесткие (6–9 мм) и текучие (10–20 мм).

К бетонам предъявляют следующие требования:

1. Водонасыщение 1–2,5% (большие значения для жестких смесей).
2. Набухание 0,5–0,7%.
3. Предел прочности на сжатие при 50 °С 0,5–1,0 МПа (большие значения для жестких смесей).
4. Глубина вдавливания штампа 1–20 мм (большие значения для текучих смесей).

В стандарте регламентированы также требования к зерновому составу смесей, качеству и количеству вяжущего. Приведена область применения различных смесей и бетонов.

Литые смеси могут использоваться не только для ремонтных работ, но и для устройства высококачественных слоев износа со сроком службы более 20 лет (см. раздел 5.8)

5.2. Асфальтобетоны для устройства тонкослойных покрытий

К тонкослойным покрытиям автомобильных дорог относят слои покрытия толщиной 2–3 см, устраиваемые из горячего асфальтобетона по традиционной технологии. Основное отличие смесей для тонкослойных покрытий от традиционных заключается в повышенном содержании щебня, вязкого битума и специальных (в основном волокнистых и полимерных) добавок.

Как показывает опыт ряда зарубежных стран (Франция, Италия, Германия, Дания и др.), при ремонте покрытий улиц и дорог целесообразно устройство тонких асфальтобетонных покрытий. Эти покрытия устраиваются с применением традиционных материалов: фракционированный природный щебень, дробленый песок или отсеб при производстве щебня (песок из отсева дробления), минеральный порошок и вяжущее.

Ввод в состав вяжущего при приготовлении асфальтобетонных смесей специальных модифицирующих добавок позволяет в значительной степени улучшить такие характеристики асфальтобетона, как коррозионная устойчивость, адгезия к старому покрытию, коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием, что способствует повышению степени надежности и долговечности покрытия. При этом повышается производительность укладочной техники. Модифицирующие добавки значительно повышают физико-химические свойства используемых битумов (адгезионные и когезионные характеристики), снижают степень старения благодаря наличию в них поверхностно-активных веществ, пластифицирующих добавок и

адгезионных присадок, антистарителей. Образование колеиности снижается вследствие незначительного приращения толщины дорожного покрытия. Сравнительная стоимость таких покрытий в 1,2–2,0 раза ниже традиционно устраиваемых, а долговечность (благодаря модификации органических вяжущих) позволяет приблизить к нормативной.

Наиболее предпочтительными асфальтобетонами для условий РБ являются материалы FIBRACCOTM, ACODIIT (Франция) и состав асфальтобетонной смеси, применяемый для устройства тонкого защитного слоя, используемый фирмой Тодини (Италия).

Тонкие асфальтобетонные слои из материала FIBRACCOTM имеют толщину 2–3 см, величину фракций минерального материала 0–10 мм, пенетрацию применяемого битума 60/70. В состав смеси вводят специальные тонкодисперсные наполнители (фибры), а в состав битума полимеры типа термоэластопластов (Кратон).

Минеральная часть включает: песок фракции 0/2 мм, 0/4 мм, щебень фракции 2/6,3 мм, 4/6,3 мм, 6,3/10 мм, минеральный порошок.

Тонкомолотые волокнистые наполнители имеют длину до 1 мм, диаметр 45 мк, удельную поверхность более 6000 см²/гр.

Состав асфальтобетонной смеси (пределы содержания компонентов)

Размер сит (мм)	% прохода через сито
10	89–100
6	44–63
4	28–40
2	18–28
0,08	8–12
Битум 50/70	6,3–7%
Органические волокна	0,3–0,4%

Органические вяжущие характеризуются следующими показателями:

плотность	1,0–1,1 г/см ²
пенетрация (глубина проникания иглы) при 25 °С	50/70
индекс пенетрации	1,5 + 0,4
температура размягчения	45–51 °С
температура хрупкости (по Фрасу)	–14 — –6 °С

Оптимальный состав асфальтобетонной смеси и интервал изменения (допустимый) представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Состав асфальтобетонной смеси

Состав асфальтобетонной смеси (оптимальный)		Интервал допустимого содержания компонента
Наименование компонента	Содержание	
Щебень фракций		
6/10	54%	44–64%
4/6	13%	4–23%
Песок фракций		
2/4	10%	25–35%
0/2	16%	
Минеральный порошок	7%	4–7%
Органические волокна	0.3%	0.3%
Битум	6.6%	6.3–7.0%

Получаемый материал обладает высокой эластичностью, износостойкостью, достаточной прочностью, водостойкостью.

Тонкие слои из материала АССОДИТ устраиваются толщиной до 2 см. Для их приготовления используется щебень фракции 0/10 с предпочтительным содержанием зерен 2/6мм, битум с пенетрацией 50/70, тонкодисперсные органические волокна 0,3–0,4%. Состав и свойства применяемых вяжущих материалов аналогичны материалу FIBRACCOTM, гранулометрический состав минеральной части и содержание вяжущего назначаются с учетом укладываемого слоя.

В РБ подобные смеси впервые применены в опытном порядке осенью 1995 г. на 209 км автомагистрали Брест–Москва. Толщина слоя составляла 2–3 см.

Следует отметить, что тонкие слои устраивались на цементобетонном покрытии, вследствие чего на участке появились определенные поперечные трещины над швами между бетонными плитами. Другие виды деформации покрытия не обнаружены. Уложенный слой асфальтобетона близок к составу FIBRACCOTM (см. таблицу 5.2).

В результате исследований был определен следующий состав асфальтобетонной смеси для устройства защитного слоя:

Щебень 6,3–10мм	– 6,8%
Щебень 2–6,3 мм	– 12%
Песок дробленный 0,08–2	– 15%
Минеральный порошок	– 5%
Битум	– 5,9%
Фибры	– 0,5%

Таблица 5.2

Состав асфальтобетона

Размеры сит, мм	6,3-10	2,0-6,3	0,08-2	0,08	Битум%	Фибры, %	Водонасыщение, %	Плотность, г/см ³
Процентное содержание	42	28	18,7	11,3	6,0	0,3	2,5	2,4

Таблица 5.3

Физико-механические свойства асфальтобетонов для устройства тонкого защитного слоя по существующему цементобетонному покрытию (а/д М1/Е30)

Содержание компонентов, %						Трещиностойкость				Сдвигоустойчивость $F_{ск,2}$ кгс/см ²
Щебень фр. 6,3/10 мм	Щебень фр. 2/6,3 мм	Отсев дробления фр. 0/2 мм	Минеральный порошок	Волокнистая добавка Виа-т-п-66	Битум	Прочность на растяжение R_{0p} , кгс/см ²	Оггосительная остаточная деформация $W_{p0,2}$ кгс/см ²	Энергия разрушения $W_{p0,2}$ кгс/см ²	Индекс трещиностойк., $I = W_{p0}/W_{доп.}$	
60	15	22	3	0,45	Б-50 Е1SS 0 П23=62 мм, 6,15%	41,2	0,009	0,38	1,52	20,1
60	15	22	3	0,45	В-85 Е-1SS 0 П25=77 мм, 6,15%	47,9	0,013	0,64	2,56	18,3

Содержание компонентов, %						Трещиностойкость				Сдвиго- устой- чивость, R^{50} $P^{50}_{сж,2}$ кгс/см ²
Щебень фр. 6,3/10 мм	Щебень фр. 2/6,3мм	Отсев дробления фр.0/2мм	Минеральный порошок	Волокни- стая добавка Вил- топ-66	Битум	Прочность на растяжение, R_{0p} , кгс/см	Относи- тельная остаточ- ная деформа- ция	Энергия разруш $W_{p0,2}$ кГс/см	Индекс трещи- ностой- кости, $I = W_{p0}/W$ до л.	
60	15	22	3	0,45	БНД 60/90 П25=82 мм, 6,15%	19,7	0,015	0,29	1,16	11,7
54	23	16	7	0,45	В-60 ESSO П25=62 мм, 6,6%	31,2	0,019	0,58	2,32	11,0
54	23	16	7	0,45	В-60 ESS 0 П25=62 мм, 6,0%	42,9	0,014	0,61	2,44	15,6
72	—	15	13	0,45	В-60 ESSO П25=62 мм, 6,8%	32,8	0,013	0,41	1,64	8,9
72	—	15	13	0,45	В-60 ESSO П25=62 мм, 5,2%	39,5	0,011	0,44	1,76	17,7

В мировой практике разработан и ряд других видов и составов асфальтобетонных смесей для устройства тонкослойных покрытий.

В лаборатории «Viafrance» (Франция) ведутся исследования над составом асфальтобетонных смесей Microvia (E и R) с использованием каменного материала 0/6 для устройства очень тонких

слоев покрытий дорог с хорошими поверхностными характеристиками. Microvia E является высококачественной асфальтобетонной смесью, предназначенной для ремонта деформированных покрытий или покрытий дорог, имеющих усадочные трещины.

Смесь Microvia E может быть приготовлена с использованием обычных или модифицированных битумов по традиционной технологии. Смесью укладывают слоем толщиной 15–25 мм.

Вязущее с эластомерными добавками, вводимое в смесь Microvia E, имеет такие физико-химические характеристики: глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм – 130–170; температура размягчения по кольцу и шару –60 °С; температура хрупкости по Фраасу — –20; интервал пластичности — 80 °С.

Для приготовления смеси Microvia E используют каменный материал и песок различного гранулометрического состава, обычно применяемый при приготовлении асфальтобетонных смесей для верхнего или нижнего слоев покрытий. Наиболее часто для смеси Microvia E используют каменный материал 0/6 с прерывистым гранулометрическим составом (исключены зерна фракции 2/4) и известняковый минеральный порошок.

Смесь Microvia E была применена на участке Париж–Лион автомагистрали А6 с интенсивностью движения 4000 авт/сут (21% грузовых автомобилей). Смесью распределяли на асфальтобетонное покрытие, подверженное трещинообразованию. При этом часть трещин перед укладкой смеси была заделана. Смесью укладывали из расчета 40 кг/м².

Смесь Microvia R (индекс R указывает на присутствие в смеси резины) является высококачественной «жесткой» асфальтобетонной смесью 0/6, предназначенной для строительства верхних слоев дорожных покрытий. Слой, уложенный из смеси Microvia R, характеризуется высокой прочностью, устойчивостью к колееобразованию, слабой чувствительностью к воздействию температур, сопротивлением усталостным явлениям. Характеристики смеси Microvia R определяются свойствами специального вяжущего (битум+добавка) и подбором гранулометрического состава каменного материала.

Способ приготовления Microvia R состоит в добавлении в смесь нефтеполимерной смолы, частично растворимой в битуме. Используют также заполнитель, щебень и песок, применяемый для обычных асфальтобетонных смесей, с прерывистым гранулометрическим составом 0/6 (исключены зерна фракции 2/4).

Смесь Microvia R была уложена на участке департаментской дороги CD51 на слой из грунта, обработанного битумом. Интенсивность движе-

ния на этом участке составила 7,5 тыс. авт/сут (12% грузовых автомобилей). Расход смеси составил 50 кг/м².

Следует отметить, что физико-механические свойства смеси позволяют использовать ее при устройстве герметизации на искусственных сооружениях: в качестве выравнивающего слоя перед укладкой герметизации при проведении ремонта дорожной одежды; в качестве временного покрытия после укладки герметизирующего слоя (если дорожное покрытие не может быть уложено сразу).

Тонкослойные покрытия в условиях РБ имеют большую перспективу, особенно в городских условиях. Однако для их широкого использования необходимо решить ряд проблем:

1. Наладить выпуск качественных минеральных наполнителей фракции 1–10 мм;
2. Наладить выпуск вяжущего пенетрацией 50/70 и гранулированных волокнистых добавок;
3. Обеспечить строительные организации необходимой укладочной техникой.

Для устройства тонкослойных покрытий необходимо также обеспечить высокую ровность основания, что требует решения определенных организационно-технических задач (своевременное проведение ремонтов).

К разновидности тонкослойных покрытий можно отнести также технологию «Новачип» [40].

Асфальтобетонные покрытия по технологии «Новачип» представляют собой тонкослойные покрытия из горячих асфальтобетонных смесей толщиной 10–15 мм, укладываемых на слой проклеивания и герметизации из катионной модифицированной эмульсии, наносимой непосредственно перед укладкой асфальтобетонной смеси.

Тонкослойные покрытия применяются в качестве фрикционных слоев, слоев гидроизоляции и износа на асфальтобетонных и цементобетонных покрытиях, а также для устранения колеяности асфальтобетонных покрытий глубиной до 25 мм.

Для производства специальной асфальтобетонной смеси тонкослойных покрытий магистральных автомобильных дорог должны применяться асфальтосмесительные установки периодического или непрерывного действия, пригодные для производства смесей асфальтобетонных по СТБ 1033.

Специализированное оборудование по укладке тонкослойных покрытий Novachip компании SCREG Route – SIR (Франция) представ-

ляет собой накопитель-укладчик непрерывного действия, на специальном автомобильном шасси.

Novachip-комбайн обеспечивает в единой технологической операции приемку и хранение в термобункере емкостью 10 тонн специальной горячей асфальтобетонной смеси, приемку и хранение в термобункере емкостью 8 тонн битумополимерной эмульсии, укладку и распределение смеси с помощью системы распределительных шнеков, вибробруса и темпера с изменяемой шириной укладки в пределах 2,7–4,5 метра; нанесение слоя проклеивания-гидроизоляции с полосой распределения в пределах 2,7–4,5 метра.

Комбинация горячей и холодной эмульсионной технологий в едином технологическом процессе позволяет укладывать указанные покрытия толщиной 10–15 мм, что недостижимо при укладке горячих асфальтобетонов по традиционной технологии.

Зерновой (гранулометрический) состав минеральной части указанных специальных асфальтобетонных смесей должен соответствовать требованиям, приведенным в таблице 5.4.

Содержание модифицированного битума относительно массы сухой минеральной части должно составлять $5 \pm 0,1\%$ по массе.

Таблица 5.4

Гранулометрический состав смеси

Размеры сит, мм	Типы минеральной части		
	0/6	0/10	0/12
	массовая доля, % зерен минерального материала, мельче, мм		
20	—	—	100
15	—	100	90–100
10	100	75–100	70–90
5	40–60	24–37	24–40
2,5	20–24	21–28	21–28
1,25	15–20	15–23	16–26
0,63	10–15	12–18	17–20
0,315	8–12	8–14	8–16
0,14	7–10	5–10	5–10
0,071	5–7	4–7	4–7

Структура покрытия по типу «Новачип» представлена рисунке 5.3.

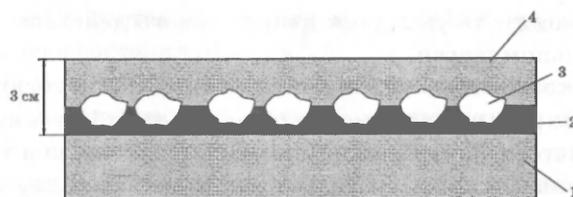


Рис. 5.3. Структура покрытия по типу «Новачип»: 1 — нижний слой покрытия; 2 — битумополимерная эмульсия; 3 — горячий черный щебень; 4 — щебеночно-мастичный асфальтобетон

При отсутствии специализированного оборудования для устройства Novachip допускается укладка тонкослойных покрытий типа «Новачип» комбинацией механизмов, состоящей из специального автогудронатора с мгновенной остановкой и стартом выдачи эмульсии и автоматическим контролем расхода и самоходным или прицепным распределителем щебня с ячейковым дозатором, асфальтоукладчиком. В этом случае применение щебнераспределителя необходимо для создания технологического слоя, обеспечивающего сохранность эмульсионного слоя проклеивания при движении асфальтоукладчика. Временной разрыв между нанесением эмульсии, щебня и асфальтобетонной смеси должен составлять не более пяти секунд.

При укладке тонкослойных асфальтобетонных покрытий магистральных автомобильных дорог для создания слоя проклеивания должна применяться модифицированная катионная эмульсия, соответствующая марке ЭБК-М-65 по СТБ 1245-00 с содержанием полимера 3% по массе остаточного битума. Условная вязкость эмульсии должна быть не ниже 10 °Е при плюс 25 °С.

Стандарты на асфальтобетоны для тонкослойных покрытий в РБ пока не разработаны. Однако по составу и структуре данные асфальтобетоны близки к щебнемасличным (см. раздел 5.4), поэтому проблема может быть решена за счет объединения работ по данным направлениям.

5.3. Асфальтобетоны с противогололедным эффектом

К противогололедным асфальтобетонам относят асфальтобетоны, содержащие в своем составе вещества, способные снижать температуру замерзания воды и тем самым предотвращать или уменьшать зимнюю скользкость. В качестве противогололедных добавок в основном используются хлориды (хлористый кальций, хлористый натрий), покрытые специальной гидрофобной оболочкой, замедляющей процесс их раство-

рения. Под воздействием колес автомобиля данная пленка разрушается и на поверхности покрытия практически постоянно присутствует антигололедный реагент.

Одной из таких добавок, присутствующих на рынке СНГ, является «Грикол». Грикол — смесь хлоридов, обработанных гидрофобизатором (силиконом) с размером частиц до 0,1 мм (80% — 0,07 мм). Поставляется фирмой «Грикол-Лимитед» в виде сыпучего порошка серого цвета с насыпной плотностью 1000 г/л. Поставка осуществляется в полиэтиленовых пакетах или насыпным способом.

Приготовление асфальтобетонной смеси с наполнителем Грикол и укладка в дорожное покрытие осуществляются по традиционной технологии. Грикол вводится в количестве до 7% от массы смеси. Имеются положительные отзывы о применении данной добавки в Финляндии, Швеции, Испании. За счет применения Грикола удается обеспечить отсутствие снежно-ледяного покрова. На рис. 5.4 показано сравнительное состояние покрытия в зимний период с наличием и отсутствием Грикола.



Рис. 5.4. Вид покрытия с противогололедным эффектом

При применении Грикола в РБ следует иметь в виду, что антигололедный эффект сохраняется около 50-ти циклов. Уровень надежности асфальтобетона с добавкой Грикола ниже, чем у традиционного асфальтобетона. Поэтому асфальтобетоны с противогололедным эффектом целесообразно использовать в качестве тонкослойных покрытий (срок службы которых 1–2 года) на наиболее опасных участках (мостах, развязках и т. д.).

5.4. Асфальтобетоны на твердых и многослойных битумах. Щебнемастичные асфальтобетоны

Как было отмечено в итоговых документах конгресса по модифицированным и специальным битумам в Риме [42], одним из перспективных направлений повышения надежности и долговечности асфальтобетона является применение твердых и многослойных (multigrade) битумов.

К твердым относят битумы с пенетрацией 10–40 градусов. В отличие от вязких, твердые битумы имеют повышенную адгезию и когезию, тепло- и водостойкость. Недостатком является повышенная хрупкость. С целью максимального использования положительных свойств твердых битумов и ликвидации отрицательных используется специальная прерывистая гранулометрия с минимальным содержанием фракции мельче 0,14 мм. Расход битума повышен по сравнению с оптимальным на 15–25%.

Многослойные битумы по своим свойствам занимают промежуточное положение между обычными и модифицированными полимерами битумами. Получают подобные битумы по специальной патентованной технологии на заводах фирмы «Шелл». Установлено, что асфальтобетоны на данных битумах также обладают повышенной надежностью и долговечностью.

Исследований по применению твердых и многослойных битумов в условиях РБ практически не проводилось. Поэтому говорить об их эффективности можно только в сослагательном наклонении. В этом плане более перспективно применение битумов повышенной вязкости в структуре **щебеночно-мастичных асфальтобетонов** (см. ниже).

С увеличением вязкости битума (температуры размягчения) растет надежность асфальтобетона по устойчивости к пластическим деформациям. В целом за счет увеличения вязкости битума можно решить проблемы пластических деформаций и обеспечить надежность в пределах 90–95%.

Однако увеличение вязкости битума отрицательно сказывается на трещиностойкости, а в некоторой степени и на коррозионной стойкости.

Однако здесь следует обратить внимание на один важный момент: с ростом толщины битумной пленки растет и устойчивость по данным показателям. При температуре размягчения 60–70 °С толщина битумной пленки, для которой Р2 и Р4 находятся в пределах 0,9, составляет 8–10 мкм.

Таким образом, при применении битумов повышенной вязкости гранулометрия асфальтобетона должна быть такой, чтобы обеспечить толщину пленки битума около 8–10 мкм.

Решается это путем применения асфальтобетонов специальной granulометрии — так называемых **щебеночно-мастичных асфальтобетонов**.

Щебеночно-мастичные асфальтобетоны (ЩМА) содержат в своем составе до 80% дробленых частиц фракции более 2 мм. Пустоты заполняют битумом повышенной вязкости. Для обеспечения требуемых технологических свойств дополнительно вводят структурирующие добавки (волокна, природные асфальты и т. д.). Структура ЩМА по сравнению с плотным асфальтобетоном характеризуется более плотной структурой щебеночного каркаса и меньшим содержанием песчаной составляющей (рис. 5.5).

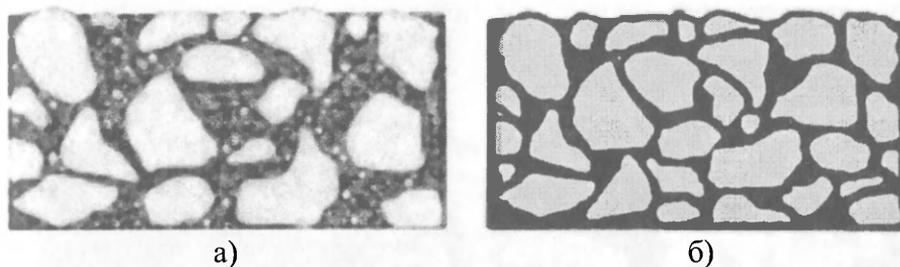


Рис.5.5. Структура асфальтобетона: а) обычного; б) щебеночно-мастичного

Бесспорно, что для широкого применения подобных асфальтобетонов, как и асфальтобетонов на модифицированных битумах, прежде всего, необходимо решить проблему получения качественных минеральных материалов (щебня, искусственного песка). В противном случае, как уже отмечалось выше, эффект может быть утерян.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон, благодаря своему специфическому составу, обладает большим сроком службы по сравнению с асфальтобетоном типа А, так как содержит больший процент асфальтвязущего, в котором соотношение битум-минеральный порошок значительно выше. Содержание большей доли битума возможно из-за того, что состав асфальтобетона предполагает большое содержание грубых фракций (щебень), которое в свою очередь обеспечивает достаточную сдвигоустойчивость покрытия в летний период даже на дорогах с движением автотранспортных средств с большой нагрузкой на ось. Можно сказать, что щебеночно-мастичный асфальтобетон взял на себя

преимущества как литого асфальта (повышенная температурная и усталостная трещиностойкость, коррозионная стойкость) и асфальтобетона (повышенные прочностные показатели, транспортировка и укладка). Наличие стабилизирующих добавок (органические или минеральные волокна) предполагает предотвращение стока битума с минеральных частиц во время транспортировки и укладки в покрытие.

Волокнистые добавки в состав смесей вводят или в гранулированном виде (рис. 5.6), либо в пакетах определенной массы. Гранулированные добавки поступают под торговой маркой «Виатоп» и могут дозироваться автоматически. В отношении добавок в пакетах эта проблема (автоматизированного дозирования) не решена.

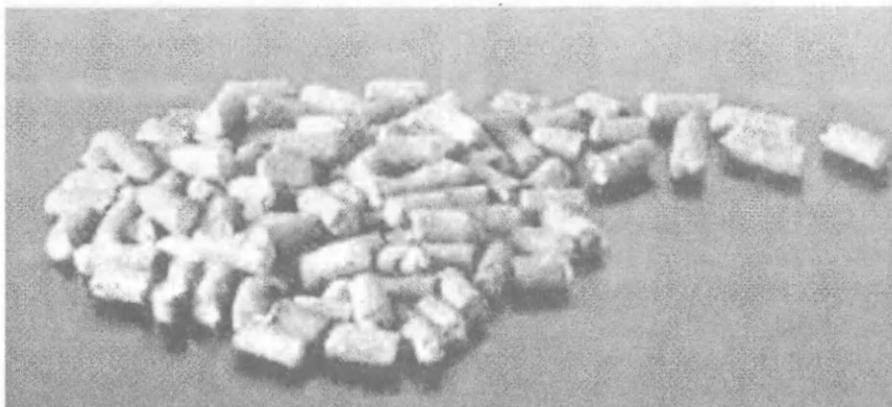


Рис. 5.6. Гранулированная волокнистая добавка "Виатоп"

Республика Беларусь имеет существенные климатические отличия от стран Западной Европы и даже Скандинавии. Эти отличия состоят в достаточно высокой летней температуре покрытий (до 70 °С) и низкой зимней (до -30 °С). В то же время наблюдается до 200 циклов замораживания-оттаивания. Поэтому РБ следует отнести к зоне риска с точки зрения эксплуатационной надежности дорожного покрытия. Эта особенность не позволяет механически перенести подходы к проектированию составов смесей и оптимизации их структуры, применяемые в странах Западной Европы, в условия РБ. С целью обоснования составов и структуры ЩМА в условиях республики были выполнены исследования надежности и долговечности щебеночно-мастичного асфальтобетона по методике раздела 1.

Сравнение выполняли на основе коэффициентов запаса и уровней надежности по устойчивости к пластическим, хрупким, усталостным и коррозионным разрушениям. В качестве аналога были приняты наиболее распространенные в условиях РБ асфальтобетоны типа А по СТБ 1033–96.

Было установлено, что асфальтобетон типа А более чувствителен к изменению вязкости битума по сравнению со ЩМА. Если при более низкой вязкости битума он имеет высокие показатели коэффициента запаса из условия сдвигоустойчивости, то по мере повышения вязкости проявляется явная тенденция к снижению, в то время как у щебеночно-мастичного спад данных значений не так велик и уже после достижения 70–80 °П ЩМА имеет преимущество в отношении данного показателя.

В пользу щебеночно-мастичного асфальтобетона говорит его специфический состав, в котором угол внутреннего трения ($tg\phi$), который значительно выше в силу того, что ЩМА в своем составе содержит большое количество щебня и большую долю самой крупной фракции, а из-за этого прочность щебеночного каркаса обеспечивается за счет большого количества межзерновых связей, что играет более важную роль в обеспечении достаточного уровня сдвигоустойчивости, в то время как у асфальтобетона типа А эту роль на себя берет в основном внутреннее сцепление (c), которое в свою очередь в основном зависти от вязкости битума. Поэтому в составе ЩМА может содержаться большее количество битума и можно в значительной степени варьировать его вязкостью без снижения устойчивости асфальтобетона к колееобразованию, а для асфальтобетона типа А данные изменения приведут к значительному снижению данного вида прочности.

На участках перегона (нормативные условия) покрытия из ЩМА будут иметь достаточный уровень надежности из условия сдвигоустойчивости даже при применении менее вязких битумов, а для асфальтобетонов типа А падение прочности может наступить для составов, содержащих битум вязкостью более 90–100 °П. При ненормативных условиях (участки разгона и торможения) покрытие как из щебеночно-мастичного, так и из асфальтобетона типа А может иметь дефекты в виде наплывов и гребенки, однако при применении в составе ЩМА битума вязкостью 60–90 °П возникновение данных дефектов маловероятно, в то время как для мелкозернистого плотного асфальтобетона даже при такой вязкости битума дефекты могут иметь место.

В отношении температурной трещиностойкости следует отметить, что практически при любой вязкости в пределах 40–120 °П щебе-

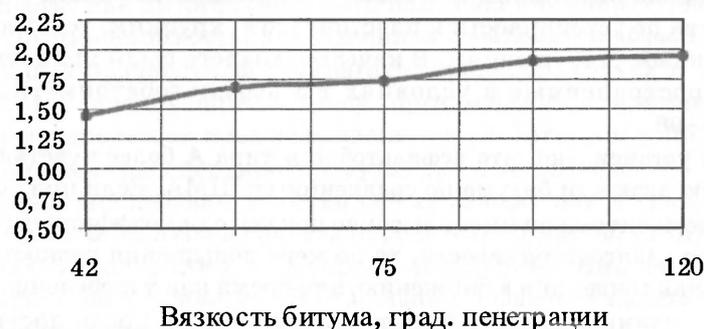


Рис. 5.7. Коэффициент запаса прочности из условия температурной трещиностойкости щебеночно-мастичного асфальтобетона

ночно-мастичный асфальтобетон имеет значительный уровень надежности (рис. 5.7). Так, например, при вязкости битума 42 °П он имеет значение 0,96, а при 120 °П — 0,98.

Такие высокие показатели данный вид асфальтобетона имеет в силу того, что толщина битумной пленки на минеральных материалах в несколько раз больше, чем в обычном асфальтобетоне, поэтому даже при применении более вязкого битума не повлечет за собой снижения деформационной способности асфальтобетона при зимнем охлаждении. Что касается асфальтобетона типа А, то для того, чтобы он имел подобный уровень надежности из условия температурной трещиностойкости, применяемый битум должен иметь вязкость выше 80 °П. Вероятность появления усталостных трещин практически одинакова для двух видов асфальтобетона. Однако ЩМА имеет некоторое преимущество в силу того, что имеет более высокую плотность, большее количество битума и жесткость его ниже, чем асфальтобетона типа А. При этом видно, что для двух видов асфальтобетона минимальные значения уровня надежности из условия усталостной долговечности имеют составы с применением битумов вязкостью 60–90 °П, а максимальное значение уровня надежности приходится на составы, в которых содержатся битумы либо с малой вязкостью, либо с достаточно высокой.

ЩМА имеет уровень надежности из условия коррозионной стойкости, значительно превышающий данный для асфальтобетона типа А, при этом практически при любой вязкости, в силу большой плотности и значительного количества вяжущего, щебеночно-мастичный асфальто-

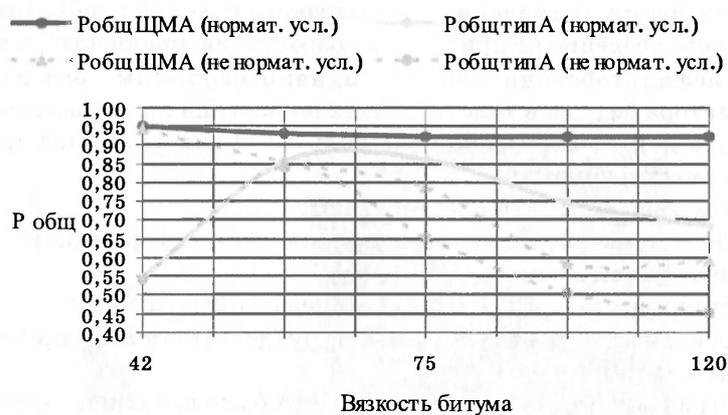


Рис.5.8. Общий уровень надежности щебеночно-мастичного асфальтобетона и асфальтобетона типа А

бетон имеет довольно высокие коэффициенты запаса прочности. Следует также заметить, что для асфальтобетона типа А, в отличие от ЩМА, вязкость битума в более высокой степени влияет на его коррозионную устойчивость и некий оптимум приходится на 60–80 °П.

Анализируя данные рис. 5.8, можно отметить, что общий уровень надежности, который в свою очередь определяется как произведение частных уровней (сдвигоустойчивость, температурная трещиностойкость, усталостная долговечность, коррозионная стойкость), у ЩМА достаточно высок, и при нормативных условиях данный показатель практически не зависит от вязкости применяемого битума, однако при ненормативных условиях (участки разгона, торможения, места остановок общественного транспорта) данный уровень значительно падает, особенно при вязкости битума 80 °П. Поэтому исходя из вышесказанного можно порекомендовать в таких условиях применять битум вязкостью 60–90 °П, а применение более вязкого битума нецелесообразно с точки зрения удобообрабатываемости и возможности достаточного уплотнения в покрытии. При применении менее вязких битумов наблюдается значительный спад при ненормативных условиях и некоторый спад при нормативных. Для вязкости битума 60–90 °П практически все частные уровни надежности имеют высокие значения. Наименьшим является уровень надежности из условия усталостной долговечности, однако его показатель также достаточно высок ($\approx 0,8$).

В отношении применения целлюлозного волокна необходимо заметить, что его введение не приводит к возрастанию прочностных характеристик асфальтобетона в целом, однако неопределима его роль как стабилизатора битума в толстых слоях на частицах минерального материала, что играет немаловажную роль во время транспортировки и укладки смеси в покрытие.

Таким образом, ЩМА обеспечивают:

- Высокую сопротивляемость пластическим деформациям;
- Износоустойчивость;
- Устойчивость к образованию температурных трещин;
- Поверхность имеет грубую текстуру (достаточно высокий коэффициент сцепления).

Опытная апробация применения ЩМА была выполнена в 2001 году на дороге М-1.

Старое покрытие имело большое количество дефектов в виде температурных трещин и коррозии (рис. 5.9).

Поэтому перед устройством слоя асфальтобетона была устроена трещинопрерывающая прослойка из щебня, пропитанного эмульсией (рис. 5.10).

Асфальтобетонная смесь имела следующий состав:

Щебень фр. 10–20мм — 46%

Щебень фр. 5–10мм — 26%

Гранитный отсев — 9% ;



Рис. 5.9. Общий вид старого покрытия



Рис. 5.10. Трещинопрерывающая мембрана

Природный песок — 8%;

МП — 11%;

Битум 90/130 — 6,4% (сверх 100% по массе);

Целлюлозное волокно «Ековата» — 0,3% (сверх 100% по массе).

Укладку смеси производили укладчиком по традиционной схеме. Для уплотнения использовали катки на пневмошинах и гладковальцевые. Текстура готового покрытия представлена на рис. 5.11.



Рис. 5.11. Текстура щебеночно-мастичного асфальтобетона

При работе с ЩМА надо иметь в виду ряд особенностей его реологического поведения в период приготовления, укладки и эксплуатации. В структуре асфальтобетонов подобного типа мезоструктура (мастика) существенно уступает по прочности при высоких температурах структуре обычных асфальтобетонов. Поэтому необходимо тщательно соблюдать точность дозирования компонентов.

В 2002 году ЩМА нашли более широкое распространение. В частности на второй очереди МКАД, а также в г. Минске (проспект Машерова).

В РБ разработаны ТУ 190055552.272-2001 «Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные и асфальтобетон». Согласно ТУ в зависимости от крупности применяемого щебня смеси подразделяются на следующие типы: ЩМСц-10 (размер фракции до 10 мм), ЩМСц-15 (размер фракции до 15 мм) и ЩМСц-20 (размер фракции до 20 мм).

К смесям и асфальтобетону предъявляют следующие требования:

Наименование показателей	Значение
1. Пористость минерального остова, % по объему	15-22
2. Водонасыщение, % по объему	1-3
3. Набухание, % по объему, не более	1,0
4. Предел прочности на сжатие при температуре 50 °С, МПа, не менее	1,0
5. Предел прочности при сдвиге при температуре 50 °С, МПа, не менее	2,0
6. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, не менее	0,75
7. Коэффициент стекания вяжущего, % по массе, не более	0,15
8. Средняя плотность, г/см ³	2,4-2,5

Применение ЩМА особенно эффективно для устройства тонких слоев износа в сочетании с высокопрочным несущим слоем, а также в сочетании с технологией «Компактасфальт» см. раздел 5.8.

Технология работ со щебнемастичным асфальтобетоном имеет ряд особенностей и нюансов. В частности, температура смеси повышается на 10-15 °С по сравнению с горячим уплотняемым асфальтобетоном, не рекомендуется использовать пневмокотки, а в отдельных случаях и вибрационные. Для придания высоких эксплуатационных свойств (шероховатости и светоотражающей способности) в Германии по поверхности слоя распределяют мелкий кварцитовый щебень. В этом случае

окончательное уплотнение ведет пневмокатком. Учитывая особые механизмы подбора составов и технологии производства работ при применении ЦМА желательнее обращаться за научным сопровождением в компетентные научные организации.

5.5. Дренирующий асфальтобетон

Дренирующий асфальтобетон — разновидность асфальтобетона, обладающего системой открытых пор в количестве 15–25%. Благодаря этому вода, попадающая на покрытие, не застаивается на его поверхности и по системе пор уходит в глубь слоя и отводится по обочину. Такая ситуация позволяет избежать эффекта аквапланирования, что существенно повышает удобство и безопасность движения. На рис. 5.12 показано поведение воды на поверхности дренирующего (слева) и обычного (справа) асфальтобетонных покрытий.

Как видно из данных рисунка, на обычном асфальтобетонном покрытии вода растекается по его поверхности. На дренирующем покрытии вода на поверхности практически не остается и уходит по порам вглубь.

Гранулометрический состав дренирующего асфальтобетона подбирают таким образом, чтобы обеспечить остаточную открытую пористость 15–25%. Практически подобные асфальтобетоны не содержат фракции мельче 1 мм, то есть состоят целиком из щебня фракций 10–14 мм (40–60%), 6,3–10 мм (20–40%), 4–6,3 мм (10–30%) и 2–4 мм (10–20%).



Рис. 5.12. Поведение воды на дренирующем (слева) и обычном (справа) покрытии

Учитывая подобную гранулометрию, очень важное значение приобретает выбор битума. Битум должен иметь повышенные когезионные свойства, обладать хорошей эластичностью. Обычно используют битумы повышенной вязкости (50–70 °П) или модифицированные битумы.

К сожалению, несмотря на свои достоинства с точки зрения потребительских свойств, дренажные асфальтобетоны в условиях РБ практически не имеют перспектив.

Обусловлено это высокой их пористостью, что, несмотря на применение высококачественных битумов, приводит к недостаточной долговечности в условиях избыточного увлажнения (предельное число циклов замораживания–оттаивания не более 150). Однако главной сдерживающей причиной является применение противогололедных материалов в виде песко-соляных смесей. Подобные материалы забивают поры в дренажном асфальтобетоне и выводят его из строя.

Применение дренажного асфальтобетона возможно при переходе на химический способ борьбы с гололедом (применение чистых солей), а также организацией мойки колес автомобилей при въезде на трассу с дренажным покрытием. Однако и в этом случае поры через 2–3 года забиваются продуктами износа и для восстановления их работы необходима промывка пор водой под давлением с помощью специальных дорогостоящих машин, что существенно повышает эксплуатационные затраты.

5.6. Цветной асфальтобетон

Цветной асфальтобетон относится к асфальтобетонам условно, поскольку он не содержит основного компонента классического асфальтобетона — битума. Вместо битума в качестве вяжущего используются различные синтетические смолы, имеющие светлый цвет (эпоксидные, нефтеполимерные, инденкумароновые и т. д.). В Белоруссии использовали отходы производства — ДМТ (ик) [43]. К сожалению, данные продукты оказались очень токсичными и широкого распространения не получили.

Все вышеотмеченные полимерные смолы очень хрупки и они обязательно должны пластифицироваться, в основном осветленными маслами. Однако и в этом случае трещиностойкость бетонов недостаточна, и их долговечность ниже обычного асфальтобетона.

В состав цветного асфальтобетона обязательно вводятся пигменты для придания соответствующего цвета, что резко повышает их стоимость.

В настоящее время в Западной Европе разработано специальное полимерное вяжущее, по свойствам близкое битумам [42]. Характерно,

что данное вяжущее не требует ввода пигмента и приобретает красный цвет при нагреве до рабочей температуры.

Используют цветные асфальтобетоны в основном как декоративный материал, а также для отделения различных по функциям транспортных потоков (велодорожек).

В последнее время для нанесения на покрытия различных рисунков, выделения велодорожек, переходов используют специальные полимерные покрытия (в основном на основе полиуретанов), наносимые методом набрызга или наклеивания (рис. 5.13).



Рис. 5.13. Полимерное покрытие, нанесенное методом наклеивания

По-видимому в будущем подобные покрытия полностью вытеснят цветной асфальтобетон.

5.7. Асфальтобетоны дискретной структуры

Сопротивление усталостному разрушению и прочность при изгибе определяются уровнем дефектности структуры и степенью концентрации напряжений. Поэтому данные характеристики асимптотически возрастают с увеличением количества вяжущего в отличие от предела прочности на сжатие. Предельная структурная прочность, а следовательно, и сопротивление усталостному разрушению также асимптотически растут с увеличением количества вяжущего. Таким образом, при разработке мероприятий по экономии расхода органических вяжущих основное внимание необходимо уделять сохранению в структуре достаточного количества центров, способных воспринимать значительные динамические нагрузки без разрешения. Одним из таких мероприятий может являться создание дискретной структуры материала.

Асфальтобетоны дискретной структуры — разновидность композитов, состоящих из обогащенной вяжущим матрицы и минеральных частиц с пониженной толщиной пленки вяжущего либо его отсутствием вообще.

Можно предложить три технологических приема получения материалов дискретной структуры.

1. Органическим вяжущим обрабатывают 70–90% общей массы минеральных частиц, затем подают оставшиеся 10–30% частиц и водный раствор ПАВ. В результате наличия водного раствора ПАВ вторично подаваемые частицы не покрываются вяжущим в процессе смешения. Однако при транспортировке и укладке вода испаряется и при уплотнении за счет наличия ПАВ частицы прочно сцепляются с остальной массой конгломерата.

2. Органическим вяжущим обрабатывают 70–98% общей массы минеральных частиц при температуре 120–160 °С, затем подают оставшиеся частицы естественной температуры и влажности. В этом случае роль «барьера», препятствующего прилипанию вяжущего в процессе смешения, выполняют пониженная температура и пленка влаги на поверхности вторично подаваемых частиц.

3. Минеральный материал обрабатывают 40–70% общей массы органического вяжущего, затем подают водный раствор ПАВ и оставшиеся 30–50% вяжущего. Такой способ позволяет получить частицы с пониженной толщиной пленки вяжущего за счет концентрации органического вяжущего на частицах, обработанных первой порцией вяжущего. В качестве ПАВ предлагается использовать ингибитор отложения солей ИОМС–1, представляющий собой 25–30%-ный водный раствор органических фосфонатов нитриотриметил, метилиминодиметилфосфоновых кислот с небольшой примесью неорганических фосфатов. Данная технология может увеличить механические характеристики на 10–30%.

На проведение материалов дискретной структуры будут сказываться одновременно два процесса: упрочнение за счет обогащения вяжущим определенного объема материала и разупрочнение за счет появления неоднородностей и снижения эффективной площади сечения материала. При оптимальном сочетании указанных факторов конгломераты с дискретной структурой будут иметь улучшенные свойства.

Зависимость свойств (динамического модуля упругости, предела прочности на растяжение при изгибе) асфальтобетонов от количества вяжущего можно представить в виде

$$R(E) = R_0(E_0) X^{A-BX}, \quad (5.1)$$

где X — количество вяжущего, %; A и B — коэффициенты, равные соответственно 1,5–4,0 и 0,01–0,06; $R_0(E_0)$ — свойства материала при $X=1$.

Создание дискретной структуры материала будет целесообразно, если выполняется условие:

$$(1-K) \left(\frac{X}{1-n} \right)^{A-BX(1-n)} \geq X^{A-BX}, \quad (5.2)$$

где n — количество необработанных вяжущих частиц, доли единицы; K — коэффициент, учитывающий сцепление необработанных вяжущих частиц с остальной массой конгломерата.

Если $K=n$, то сцепление отсутствует, если $K=0$ — сцепление максимальное.

Теоретические расчеты показали, что оптимальное количество необработанных вяжущих частиц составляет 5–20% в зависимости от количества вяжущего. Такое положение соответствует и выводам теории перколяции, поскольку перколяционные «мостики» из необработанных частиц могут возникать при объемной их концентрации не менее 17%.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что за счет регулирования толщины пленки вяжущего удается повысить прочность на сжатие и изгиб, особенно при высоких скоростях деформирования. Это позволяет сократить расход вяжущего из условия равнопрочности на 10–30%. За счет обогащения вяжущим части конгломерата снижается водонасыщение и происходит увеличение предельной деформации.

Оптимальное количество необработанных частиц зависит от вязкости вяжущего и его количества. С увеличением вязкости вяжущего оптимум структуры смещается в сторону большего количества необработанных частиц.

При сравнении теоретических значений и экспериментальных данных установлено, что величина коэффициента K в уравнении (5.2) составляет 0,1–0,7 n , т. е. сцепление необработанных частиц с остальной массой конгломерата больше нуля, но меньше сцепления обработанных вяжущих частиц. Такое положение может привести к падению водо- и морозостойкости.

Для оценки водо- и морозостойкости исследовали прочностные свойства дегтебетонов однородной и дискретной структуры, содержащих различное количество необработанных вяжущих частиц. Образцы были подвергнуты 15 циклам замораживания и оттаивания с длительной выдержкой их после каждого цикла в воде. Общая продолжитель-

ность выдержки составила 20 суток. Установлено, что бетоны дискретной структуры не уступают по морозостойкости обычным.

Повышение морозостойкости объясняется более высокой плотностью и прочностью основной массы конгломерата, что компенсирует слабое сцепление необработанных частиц.

Материалы дискретной структуры обладают также достаточным сопротивлением износу, что гарантирует их устойчивость под действием построечного транспорта до устройства покрытия.

Дискретная структура рекомендуется для пористых битумопесчаных смесей, применяемых в нижних слоях покрытий и основаниях. Битумопесчаные смеси, получаемые обычным способом, требуют повышенного расхода битума и имеют невысокие физико-механические показатели. За счет создания дискретной структуры при том же расходе битума расчетные характеристики удастся повысить на 20–30%. В качестве материалов, подаваемых на второй ступени смешения, можно использовать влажные отходы производства (асбоцементные, гипсосодержащие и др.).

Создание дискретной структуры целесообразно при использовании комбинированных вяжущих, например, битумов и дегтей, некондиционных вяжущих из отходов производства. Так, если дегтем обработать крупную фракцию, а битумом — мелкую, удастся повысить прочность материала и снизить расход вяжущего. Готовят данные материалы следующим образом. Щебень обрабатывают дегтем при 110–120 °С и перемешивают 10–15 с, затем подают песок, минеральный порошок, битум и производят окончательное перемешивание. Такая технология позволяет улучшить деформативность материала, снизить токсичность [44].

Обработка менее вязким вяжущим крупной фракции целесообразна также с точки зрения снижения температурных внутрискруктурных напряжений.

Таким образом, применение бетонов дискретной структуры позволяет широко использовать местные пески и песчано-гравийные смеси, добиться экономии вяжущего. Подобные бетоны целесообразно использовать на дорогах местного значения с защитным слоем.

5.8. Высокопрочные асфальтобетоны с защитным слоем (НАС)

Как уже отмечалось в разделе 1, дорожные покрытия работают в сложных условиях при одновременном воздействии транспортной нагрузки и погоднo-климатических факторов. Поэтому структурные параметры асфальтобетона находятся в диалектическом противоречии с точки

зрения их влияния на надежность и долговечность асфальтобетона. Например, повышая прочность асфальтобетона на действие транспортных нагрузок, мы снижаем его устойчивость к погоднo-климатическим факторам. На рис 5.14 представлена зависимость общего уровня надежности асфальтобетона от содержания щебня и вязкости битума. Как видно из данного рисунка, асфальтобетоны с повышенным содержанием щебня имеют достаточно низкий уровень надежности (в пределах 50%), при этом оптимальная вязкость битума составляет около 90 °П. Подобные асфальтобетоны недостаточно устойчивы к повышенным транспортным нагрузкам и имеют невысокую прочность. Такое положение обусловлено падением надежности асфальтобетона на действие погоднo-климатических факто-

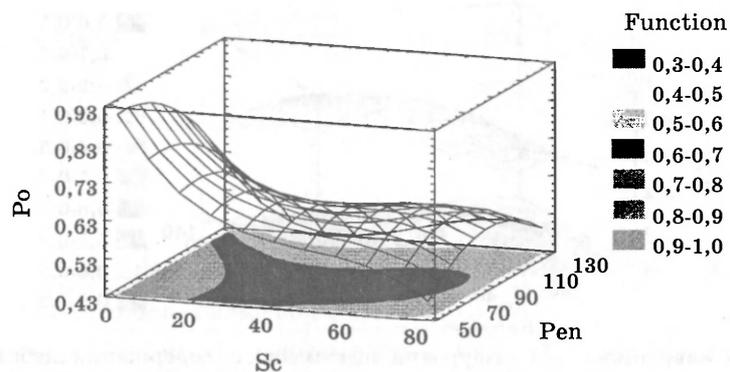


Рис. 5.14. Зависимость общего уровня надежности асфальтобетона от содержания щебня и вязкости битума

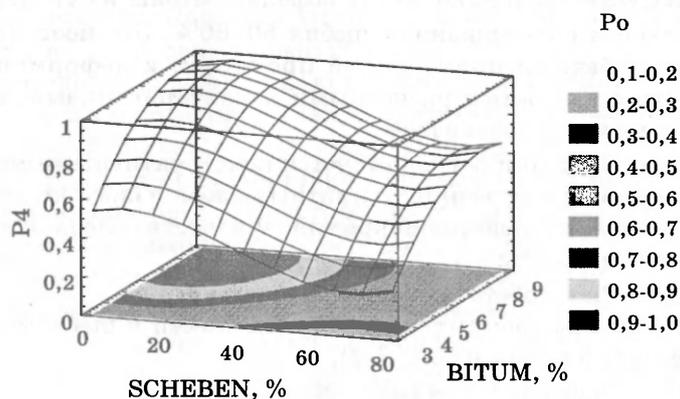


Рис.5.15. Зависимость уровня надежности асфальтобетона по коррозионной стойкости от содержания щебня и битума

ров с повышением содержания щебня. Как видно из данных рисунка 5.15, с ростом содержания основных структурообразующих компонентов (щебня и отсева) коррозионная стойкость асфальтобетона неуклонно снижается.

В то же время многощебенистые асфальтобетоны устойчивы к пластическим деформациям и температурным трещинам. Отсюда возникает конструкционная проблема — сохранение устойчивости асфальтобетона на действие погодных-климатических факторов. Если каким-либо способом обеспечить достаточный уровень надежности по коррозионной стойкости, наблюдается совершенно иная картина зависимости общего уровня надежности от структурообразующих компонентов (рис. 5.16).

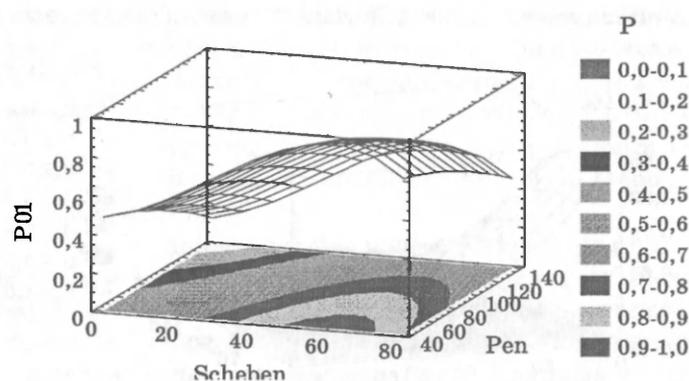


Рис. 5.16. Зависимость общего уровня надежности от содержания щебня и вязкости битума (без учета коррозионной стойкости)

Преимущество начинают иметь асфальтобетоны на битумах повышенной вязкости с содержанием щебня 50–60%. Это позволяет получить асфальтобетоны повышенной прочности и деформационной устойчивости с высокими расчетными характеристиками, модулем упругости и прочностью на изгиб.

Защита от коррозии осуществляется конструктивными мерами — путем устройства качественных защитных слоев износа не позже чем через месяц после устройства покрытия. В качестве слоев износа рекомендуется использовать:

1. Литые асфальтобетоны с втапливанием щебня;
2. Тонкослойные покрытия из горячих смесей и щебнемастичных асфальтобетонов (см. раздел 5.2, 5.4);
3. Двойные поверхностные обработки;
4. Одиночные поверхностные обработки на модифицированных битумах;

5. Слои из литых эмульсионно-минеральных смесей (Слари-Сил).

Подобные асфальтобетонные смеси нашли отражение в ТУ РБ 100649721.001/2000 «Смеси асфальтобетонные повышенной деформационной устойчивости и асфальтобетон для покрытий городских улиц» под маркой А1. В качестве защитных слоев рекомендуется использовать тип смеси А3. Составы смесей представлены в таблице 5.5.

При подборе составов подобных смесей необходимо стремиться к минимизации расхода битума с максимальным увеличением плотности смеси и содержания щебня, минимизации пыли.

Таблица 5.5

Составы смесей повышенной деформационной устойчивости

Наименование и тип смеси	Массовая доля, %, зерен минерального материала мельче, мм										Содержание битума в % от массы минеральной части
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
А3	—	—	90–100	30–50	20–37	14–25	9–18	6–14	4–10	4–6	5,2–7,0
А2	95–100	78–100	60–100	35–50	24–38	17–28	12–20	9–15	6–11	4–10	4,5–6,5
А1	97–100	65–59	47–42	23–30	20–30	20–30	19–27	17–23	16–20	4–14	4,5–6,5

Для приготовления смесей используют вязкие битумы с пенетрацией 60–80 градусов. Подобные смеси прошли апробацию на ряде улиц г. Минска и показали свою эффективность.

При устройстве дорожных покрытий по предлагаемой схеме можно использовать и технологию «Компактасфальта», разработанную фирмой «Кирхнер» (Германия).

Сущность данной технологии заключается в одновременной укладке высокопрочного асфальтобетона и слоя износа. Это обеспечивает качественное сцепление слоев, отказ от подгрунтовки, эффективное уплотнение с двукратным уменьшением затрат на него.

Одновременное устройство слоев из различных по составу и свойствам материалов осуществляют с помощью специальных асфальтоукладчиков (рис. 5.17), состоящих из следующих элементов (рис. 5.18).

Преимущества технологии «Компактасфальта» сдерживается пока высокой стоимостью укладочного комплекса (около 800 тыс. евро).

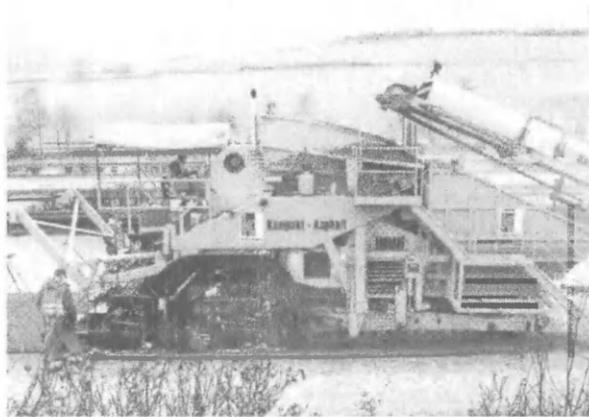


Рис.5.17. Механизированный комплекс для устройства покрытий по технологии “Компактасфальт”

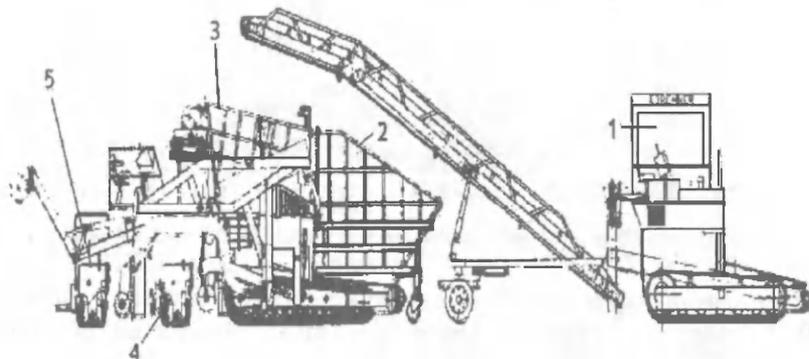


Рис. 5.18. Схема механизмов устройства покрытий по технологии “Компактасфальт”: 1 – механизм, обеспечивающий отдельный прием и подачу смесей для устройства несущего слоя и слоя износа; 2 – бункер для приема и хранения смеси несущего слоя; 3 – то же для слоя износа; 4 – механизм распределения и уплотнения смеси несущего слоя; 5 – то же слоя износа.

В тоже время наиболее целесообразным в условиях РБ следует признать устройство покрытий из литых смесей с втапливанием щебня. Германская фирма GFB уже в течение нескольких лет использует литые смеси для устройства дорожных покрытий. Срок службы подобных покрытий достигает 20 лет. Литые смеси готовят на высокопроизводительных асфальтобетонных заводах и доставляются на трассу в котлах емкостью до 20 м^3 (рис. 5.19). В покрытие смесь укладывают специальными укладчиками с одновременным распределением мелкого



Рис. 5.19. Котлы для доставки литых смесей

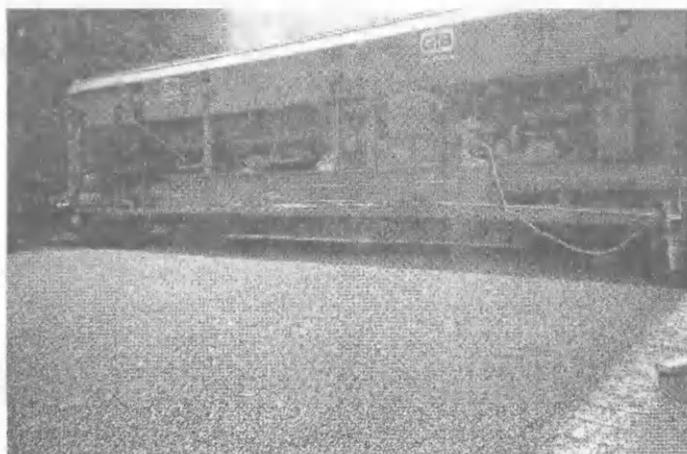


Рис. 5.20. Специальный укладчик литых смесей с распределением мелкого щебня

щебня, обеспечивающего шероховатость (рис. 5.20). Щебень прикатывают средним катком до получения качественной микрошероховатой структуры (рис. 5.21). Литые смеси для устройства слоев износа отличаются повышенным содержанием щебня и наличием добавок (тринидадского асфальта). Применение литых смесей в РБ позволит наконец решить проблему низкой долговечности дорожных покрытий.

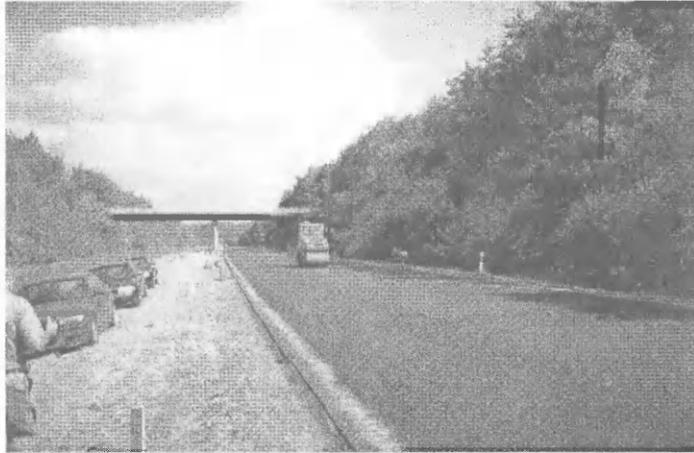


Рис. 5.21. Прикатка мелкого щебня на свежеложенном покрытии из литой смеси

Следует отметить, что при устройстве тонких слоев износа поверх жесткого несущего слоя происходит перераспределение напряжения и деформаций в слоях покрытия. В результате уровень напряжения в слое износа толщиной 2,5–3 см ниже, чем в случае применения традиционных покрытий на 30–40% (рис. 5.22). При этом максимальный уровень напряжения наблюдается в несущем слое. Такое положение позволяет применить в структуре защитных слоев менее жесткую матрицу вяжущего (повышенный расход битума), обеспечивающую высокую степень гидроизоляции.

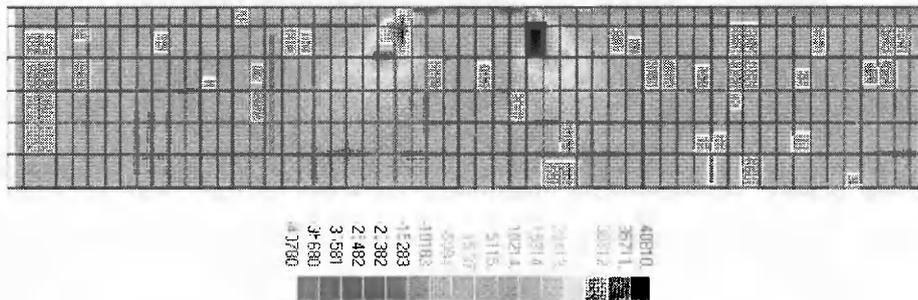


Рис. 5.22. Распределение максимальных касательных напряжений τ_{\max} по толщине (в Па): а) покрытие со слоем износа; б) обычное двухслойное покрытие.

Таким образом, в РБ разработаны новые эффективные составы и конструкция дорожного покрытия, обеспечивающие уровень надежности в пределах 95–98%.

Данное покрытие было устроено на автостраде М-1 в июле 2002 году. Через две недели была устроена поверхностная обработка. Несмотря на высокие летние температуры деформации покрытия отсутствуют.

5.9. Холодные асфальтобетоны для ямочного ремонта в зимний период

Одним из путей снижения энергозатрат в дорожном строительстве является применение холодных асфальтобетонов для текущего ремонта. Холодные асфальтобетоны можно готовить на одной базе, а применять по всей территории области или республики. Продлевается ремонтный сезон до температуры 0...–5 °С. Сокращается энерго- и механизированность ремонтных бригад. Однако в странах СНГ холодные асфальтобетоны практически не применялись с 50-х годов. Утерян опыт работы с ними. Практически отсутствуют требования к материалу и технологии его приготовления. В последние годы в странах Западной Европы, США, Канаде появились высокотехнологичные и качественные холодные асфальтобетоны. Поэтому актуальность применения подобных материалов возросла.

Классический холодный асфальтобетон является разновидностью асфальтобетона приготавливаемого в горячем состоянии, но укладываемого в холодном виде (при температуре не ниже 5 °С). В СССР подобные асфальтобетоны начали применять в 50-х годах. Для их приготовления использовали средне- и медленногустеющие битумы марок СГ 70/130 или МГ 70/130 по ГОСТ 11955–82. Получали подобные битумы в основном путем разжижения вязких битумов дизельным топливом, керосином или маслами. Для предотвращения быстрого слеживания готовой смеси содержание битума составляло на 20% меньше оптимального, а для повышения прочности готовой смеси вводили повышенное количество минерального порошка (на 15–20% больше оптимального).

Все это в результате позволило получать смеси, способные храниться до 6 месяцев в штабелях высотой не более 1,5 м. Холодной смесью укладывалась в покрытие и формировалась (уплотнялась) движущимся транспортом в течение 1–1,5 месяца. Низкая плотность подобных бетонов и малый расход битума приводили к недостаточной долговечности, особенно в зонах избыточного увлажнения (Беларусь).

Не было возможности применять данные смеси в осенне-зимний период (температура ниже плюс 5 °С). Все это привело практически к отказу от холодного асфальтобетона.

Ускорить сроки формирования холодного асфальтобетона и повысить его качество можно путем замены медленногустеющих битумов быстрогустеющими. Впервые холодный асфальтобетон на быстрогустеющих битумах был получен в США. В качестве разжижителя битума был использован газалин в количестве 0,2–1,5% от общей массы смеси. Расход битума составлял 4,5–7%. Минеральный материал содержал 0,5–1% гашеной извести. Смесь формировалась в течение нескольких суток. В то же время подобные асфальтобетоны также не нашли широкого распространения ввиду небольшого срока их хранения в штабеле, поскольку растворитель быстро испарялся и асфальтобетон терял технологическую подвижность.

Данная проблема довольно оригинальным способом была решена в 90-е годы. Холодная асфальтобетонная смесь на легколетучих растворителях затаривалась в полиэтиленовые либо бумажные мешки. Это давало возможность длительного хранения смеси и упрощало доставку к потребителю. Недостатком смесей на быстрогустеющих битумах является применение дорогих растворителей, которые, испаряясь, теряются безвозвратно. Необходимо применять битумы, которые при небольшой потере растворителей приобретали достаточную когезию. Однако до сих пор в мировой практике данная проблема не решена.

В настоящее время стали применять холодные асфальтобетоны на битумных эмульсиях. Наибольшее распространение такие бетоны нашли во Франции, Германии, Польше. Так, французские фирмы «Скрэт» и «Колас» для приготовления холодных асфальтобетонных смесей используют эмульсии катионного типа. Для повышения качества бетона эмульсии готовят на разжиженном легкими растворителями битуме, кроме того, в состав эмульсии входят 2–3% латекса натурального каучука. С целью повышения срока хранения готовая смесь также затаривается в полиэтиленовые мешки. Запатентована холодная смесь на битумных эмульсиях анионного или катионного типа, содержащая минеральный наполнитель крупностью 0–14 мм непрерывной гранулометрии, синтетические волокна (0,05–0,5%) и добавки, регулирующие сроки формирования (цемент или водные растворы аминов). В Польше для снижения температуры замерзания воды в состав эмульсии вводят хлористый кальций. В результате эмульсионная смесь используется и для зимнего ямочного ремонта.

В Германии выпуском холодного асфальтобетона занимается фирма «Romex». Фирма разработала эмульсию под названием «Peraspha-ltkonzentrat». Для приготовления асфальтобетонной смеси используются минеральные материалы прерывистой гранулометрии следующего состава:

- щебень фракции 2–5 мм — 65%;
- дробленный песок фракции 0,2–2 мм — 24%;
- тонкодисперсный наполнитель — остальное.

Расход концентрата составляет 65 кг на одну тонну смеси. Стоимость концентрата 1470 ДМ за тонну.

Концентрат представляет собой водную эмульсию, содержащую битум, качественное ПАВ, разжижитель и полимер. Важную роль играет гранулометрический состав. Приведенный выше грансостав выполняет две функции:

1. Предотвращает пластические деформации при практически нулевой когезии вяжущего.
2. Вследствие отсутствия тонкодисперсных частиц предотвращается распад эмульсии на стадии смешения и хранения.

Несмотря на широкое применение холодных асфальтобетонов на битумных эмульсиях в ряде западных стран, к их применению в условиях Беларуси, особенно для ведения осенне-зимних ремонтов, следует относиться с осторожностью. Холодный асфальтобетон на битумных эмульсиях может сформироваться только после испарения воды, поскольку при ямочном ремонте другого пути отвода нет. Замерзшая вода будет разрушать структуру асфальтобетона, в результате его долговечность, несмотря на высокую стоимость, может оказаться низкой.

Для разработки эффективных составов холодного асфальтобетона необходимо решить определенные теоретические задачи.

Каким же образом устранить недостатки, присущие холодным асфальтобетонам на разжиженных битумах или эмульсиях?

Возможны два пути:

1. Создание двухслойной оболочки на минеральных частицах.
2. Формирование структуры битума при небольшом количестве удаляемого растворителя.

Первый путь наиболее выгоден с экономической и технологической точек зрения. В то же время асфальтобетон будет иметь более низкое качество и более длинные сроки формирования. Однако для дорожного строительства (особенно на дорогах II–IV категорий) он может оказаться наиболее приемлемым.

Если минеральный материал обработать битумом (желательно с улучшающими и адгезионными добавками), на частицах возникает тонкий слой, обладающий высокой адгезией и прочностью после уплотнения.

Вязкость такого слоя должна находиться в пределах уплотняемости и составлять при 0 — минус 10 °С 10–100 Па с. То есть в 10 раз выше, чем при обычной обработке. Такую вязкость обеспечивают битумы с пенетрацией выше 150 °П. При вводе добавки пенетрация может быть снижена вследствие увеличения уплотняемости.

Толщина слоя первичной обработки должна быть определена экспериментально.

Данный первичный слой защитит минеральный материал от доступа воды и после уплотнения создаст прочный каркас. То есть исчезнут отмеченные выше недостатки.

Для обеспечения технологической подвижности и неслеживаемости смеси, частицы должны покрываться вторым слоем вяжущего. Вяжущее второго слоя должно быть по возможности термодинамически несовместимым с первым на стадии смешения и хранения бетона и совмещаться после формирования структуры.

Таким требованиям отвечают водные эмульсии легких растворителей и битума. Наличие воды будет способствовать предотвращению слипания готовой смеси. Легкие же растворители будут пластифицировать поверхностный слой и в то же время, испаряясь, будут быстро формировать структуру асфальтобетона. Вязкость эмульсии при 0–10 °С должна быть 2–4 Па с.

Второй способ получения качественного асфальтобетона может быть реализован путем использования битумо-мастичного вяжущего, разжиженного спектром растворителей. Причем количество полимера и содержание асфальтенов должно обеспечить формирование структуры при удалении 5–10% низкокипящего растворителя. Сам же растворитель должен быть составлен из расчета получения конечной вязкости 2–4 Па с.

Отдельный вопрос — гранулометрический состав и плотность холодного асфальтобетона.

Применяемые в Западной Европе холодные асфальтобетоны практически полностью состоят из щебня фракций 2–5 мм (причина этого указана была выше). Остаточная пористость около 10%. Такой состав уменьшает расход вяжущего и ускоряет формирование структуры вследствие возможности быстрого испарения воды или растворителя.

Следует иметь в виду, что увеличение пористости на 1% увеличивает скорость формирования структуры на 20–30%. Показатель слеживаемости у щебеночных смесей в 3–4 раза ниже, чем у плотных. Поэтому оптимальный гранулометрический состав может быть следующим:

- щебень 2–5 мм — 66%;
- песок 0,14–2 мм — 21,5%;
- минеральный порошок — 3,5%.

Применительно к условиям Беларуси можно рекомендовать щебеночный бетон следующего состава:

- щебень 5–10 мм — 50–77%;
- щебень 2–5 мм — 15–30%;
- песок 0,14–2 мм — 5–15%;
- порошок — 3–5%.

Подобные составы рациональны для бетонов на основе качественных битумов и добавок (второй способ получения асфальтобетонов).

Первые опытные работы в условиях РБ были проведены на объектах Витебского и Гродненского облдорстроев (Лепель, Скидель). Затем на более современной базе в условиях Брестского облдорстроя (Барановичи) была создана установка по получению холодных асфальтобетонных смесей с использованием эффекта двойного слоя. Смесь вначале готовилась по горячей технологии, затем при температуре 60–80 °С обрабатывалась растворителями. Однако создаваемый по такой схеме двойной слой является недолговечным и теряет свои свойства через

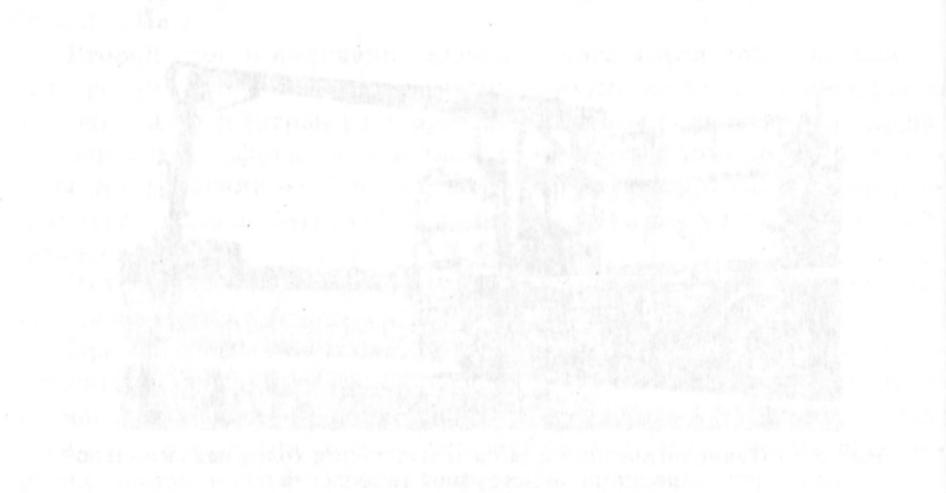


Рис. 5.23. Технологический комплекс получения холодных смесей по инъекционно-струйной технологии.

несколько суток. Поэтому качество смеси оказалось недостаточным. Для широкого внедрения в РБ холодных ремонтных смесей требуется решить проблему качества минеральных материалов и разработать конструкцию смесителей, позволяющих обеспечить получение качественного двойного слоя.

В настоящее время определенную конкуренцию холодному асфальтобетону, хранящемуся в таре, при проведении ремонтных работ составляют струйно-инъекционные технологии. В соответствии с данной технологией приготовление ремонтного материала и его распределение осуществляется непосредственно на месте производства работ с помощью специальных механизмов (рис. 5.23). Основным вяжущим материалом является битумная эмульсия, но можно применить и жидкий битум. Все технологические операции (продувка дефектного места, заполнение его щебнем, обработанным вяжущим, присыпка) выполняются последовательно на месте работ. Такая технология позволяет решить ряд проблем, отмеченных выше.

В настоящее время определенную конкуренцию холодному асфальтобетону, хранящемуся в таре, при проведении ремонтных работ составляют струйно-инъекционные технологии. В соответствии с данной технологией приготовление ремонтного материала и его распределение осуществляется непосредственно на месте производства работ с помощью специальных механизмов (рис. 5.23). Основным вяжущим материалом является битумная эмульсия, но можно применить и жидкий битум. Все технологические операции (продувка дефектного места, заполнение его щебнем, обработанным вяжущим, присыпка) выполняются последовательно на месте работ. Такая технология позволяет решить ряд проблем, отмеченных выше.



6. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕМОНТА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

6.1. Битумо-полимерные (эластомерные) герметики и материалы на их основе

В разделе 2 были рассмотрены вопросы применения в дорожном строительстве битумов, модифицированных различными полимерными соединениями. При этом содержание полимера не превышало 5–6%. Если количество модификатора достигнет 7–12%, получается совершенно новая система вяжущего, обладающая развитой структурной сеткой полимера и физико-механическими свойствами, близкими к самому полимеру. В то же время подобные системы обладают и свойствами битума (переход в жидкое состояние при высоких температурах, клеящая способность и др.). На практике битумные системы, содержащие повышенное количество полимеров, называют мастиками или герметиками. В дорожном строительстве мастики применяют для устройства и ремонта деформационных швов дорожных покрытий и мостов, устройства трещинопрерывающих прослоек, гидроизоляции и т. д.

При ремонте и герметизации швов в цементобетонном покрытии применяются следующие материалы: грунтовка, битумо-полимерная мастика, наполнители.

Битумо-полимерная мастика представляет собой битум, наполненный полимером, минеральными дисперсиями, а также различными добавками.

В зависимости от температуры применения различают горячие и холодные мастики.

Холодные мастики удобны при производстве работ и являются наиболее долговечными (срок службы достигает 20 лет). В качестве полимеров для получения данного вида мастик используют в основном полисульфидные и силиконовые каучуки, полиуретаны, кремнийорганические соединения.

Несмотря на высокие технические показатели холодные мастики имеют высокую стоимость, превышающую свойства горячих мастик в несколько раз. Поэтому их применение очень ограничено.

Основное распространение получили горячие мастики, имеющие рабочую температуру 180–220 °С. Для их приготовления используют в основном стирол-бутадиен-стирольные сополимеры типа СБС, дробленую резину, полиолефины, каучуки и др. То есть большинство полиме-

ров, применяемых для получения модифицированных дорожных битумов (см. раздел 1). Срок службы горячих мастик 5–10 лет.

Большинство горячих мастик, применяемых в РБ, готовят на основе сополимера СБС, количество которого достигает 11–12%. С целью снижения стоимости часть СБС может быть заменена дробленой резиновой крошкой, получаемой при переработке старых автомобильных шин. Ее количество может достигать 5–7%. Однако для растворения и набухания резиновой крошки в битуме недостаточно активных ароматических компонент. Поэтому при ее применении вводят специальные пластификаторы — сланцевое или антраценовое масло, канифоль, талловый пек и др. Горячие мастики также содержат в составе различные минеральные порошки (доломитовые, известняковые), соли жирных кислот и другие структурирующие добавки. Данные добавки позволяют, с одной стороны, изменить свойства исходного битума, с другой — создать структуру готового продукта.

Как уже отмечалось, битумо-полимерная мастика содержит до 12% термоэластопластов, что приводит к снижению адгезии с бетонной поверхностью. Для обеспечения адгезии мастики применяется грунтовочный состав (праймер), который представляет собой раствор битумно-эластомерной мастики в летучем растворителе. Растворители должны применяться на ароматической основе (в основном это сольвенты). Для грунтовки могут использоваться и составы на основе эпоксидных смол. Данные грунтовки наиболее эффективны.

При герметизации разделанных швов и трещин шириной более 20 мм кроме мастики используют наполнители. Обычно используют черный щебень фракции 3–5 мм. Чернение щебня производится в установке битумом БНД 60/90 или БНД 90/130. Количество вяжущего в процессе чернения щебня — 0,8–1% от массы минерального материала.

Работы по герметизации швов и трещин включают:

- разделку швов и трещин распиливанием на глубину не менее 30 мм;
- продувку швов и трещин сжатым воздухом с целью удаления обломков материала и грязи;
- подгрунтовку боковых стенок и дна разделанного шва и трещины;
- технологическую паузу с целью высыхания подгрунтовки;
- герметизацию шва и трещины;
- после затвердевания герметика и по окончании каждого рабочего дня — полную очистку покрытия дороги с тщательным удалением мусора.

Разделку швов и трещин выполняют фрезой на ширину 6 мм при ширине шва или трещин менее 6 мм и на глубину не менее 30 мм. Во всех других случаях ширина разделки выполняется до обнажения свежего бетона на стенках трещины по всей ее длине. Скалывание бетона стенок шва или трещины не допускается. После разделки швов и трещин фрезой производится скалывание ненужного бетона с помощью перфоратора с последующей продувкой сжатым воздухом с целью удаления обломков и остатков бетона и грязи.

Подгрунтовка стенок и дна разделанных швов и трещин производится по сухой и чистой поверхности бетона с помощью специальных разбрызгивающих механизмов и приспособлений, обеспечивающих равномерное распределение грунтовочного материала с расходом 0,2–0,25 л/м² или кистью, в зависимости от вязкости грунтовки. После выполнения работ по подгрунтовке бетонной поверхности дна и стенок разделанных швов и трещин следует технологический перерыв в течение 1 часа для высыхания праймера, после чего производится герметизация.

Заполнение трещин и швов герметиком производится при температуре поверхности бетонного покрытия не ниже +5 °С. Герметик наносится из специального распределительного котла, оснащенного мешалкой и термостатической системой управления, обеспечивающей нагрев с помощью масляной рубашки (рис. 6.1). Время содержания одной партии герметика при рабочей температуре не более 8 часов.



Рис. 6.1. Заполнение шва герметиком

При заполнении швов мастикой важно иметь в виду, что объем мастики в шве следует ограничивать. Обусловлено это тем, что коэффициенты температурного расширения мастики и бетона отличаются примерно на порядок, и при большом объеме мастики могут возникнуть большие температурные напряжения в зимний период, способствующие адгезионному отрыву.

Применение мастик позволяет существенно улучшить качество деформационных швов мостов.

Типовые конструкции деформационных швов на мостах предусматривают в основном применение материалов, обладающих различными физическими и механическими характеристиками. В процессе эксплуатации разнородные материалы деформационных швов недолговечны и интенсивно разрушаются. При этом нарушается герметичность швов, возникают неровности, которые при постоянном динамическом воздействии транспортных нагрузок приводят к интенсивному разрушению конструкции мостового полотна и последующему разрушению несущих элементов моста. Ремонт типовых конструкций деформационных швов для пролетных строений с перемещениями до 50 мм практически всегда требует замены отдельных конструктивных элементов (металлические уголки обрамления, металлические пластины перекрытия шва, ремонт разрушения покрытия у кромок и т. п.).

Наиболее надежными и долговечными для мостовых сооружений при перемещении пролетных строений с амплитудой до ± 25 мм являются закрытые швы, в которых перемещения обеспечиваются деформацией материала, перекрывающего шов. При этом конструкция подвижна во всех направлениях: продольном, поперечном и вертикальном.

В зарубежной практике строительства и ремонта мостовых переходов наибольшее распространение получили закрытые деформационные швы «Thorma-joint» фирмы «PRISMO» (Англия), «Joint Betaflex» фирмы «B. T. P. S.» (Франция), «OAT-Villajoint» (Германия).

Конструкция деформационных швов в общем случае представлена на рис. 6.2 и включает: уплотнитель зазора между пролетными строениями — 1; герметизирующий материал — 2; металлическую пластину для перекрытия зазора между пролетными строениями — 3; фракционированный щебень (15–20 мм), пропитанный битумно-полимерным герметиком — 4; смесь фракционированного щебня (5–10 мм) с битумно-полимерным герметиком — 5; обработку поверхности дробленым песком фракции (2–5 мм) — 6.

Деформационные швы закрытого типа имеют оптимальную ширину 500 мм и глубину 100 мм. Ограничения в размерах швов

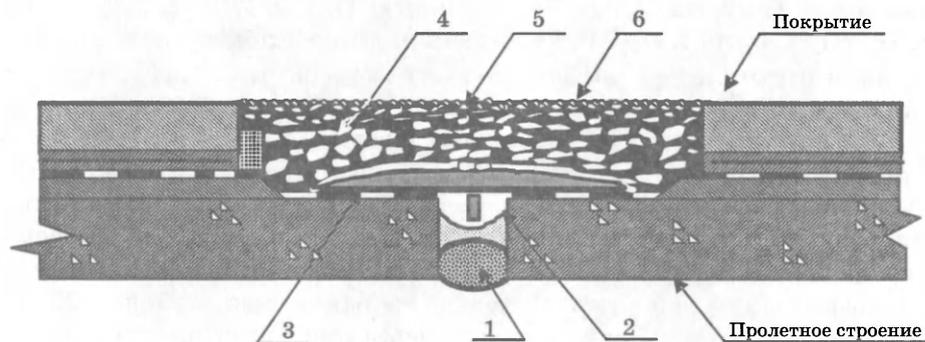


Рис. 6.2. Типовая конструкция деформационного шва

обусловлены возможностью накопления при эксплуатации в летний период пластических деформаций под действием транспортной нагрузки. Оптимальным отношением ширины закрытых швов к их глубине является соотношение от 5:1 до 7:1. Минимальная глубина закрытых швов при этом должна составлять не менее 70 мм.

Основными преимуществами закрытых деформационных швов являются:

- полная водонепроницаемость;
- гибкость по всем направлениям и отсутствие необходимости применять сложную механическую систему из разнородных материалов;
- возможность обеспечивать горизонтальные перемещения до 50 мм и вертикальные до 3 мм;
- высокая ровность и бесшумность;
- ремонтпригодность и возможность повторного использования материалов;
- простота и быстрота устройства, возможность ввода в эксплуатацию непосредственно после устройства.

Немецким федеральным ведомством по дорожному делу в 2001 году был произведен анализ состояния 724 закрытых деформационных швов, устроенных в соответствии с «Дополнительными техническими условиями договора и директив по устройству покрытий мостов и других инженерных сооружений из бетона» (ZTV-BEL-FU), со сроком службы не менее 4 лет. Результаты анализа показали, что 59% швов не имели дефектов, 12% швов имели дефекты, не затрагивающие основную их функцию, т. е. это были дефекты, связанные с пластическими

деформациями материала заполнения. Около 20% швов имели дефекты, нарушающие функцию шва, к которым были отнесены трещины и отрыв материала заполнения от стенок шва. Информация о типах дефектов у 9% швов отсутствует.

Опыт устройства деформационных швов закрытого типа и последующие наблюдения за их состоянием в процессе эксплуатации в различных климатических зонах РФ и стран СНГ показал, что наиболее часто встречающимся дефектом на швах закрытого типа является образование трещин и отрыв материала заполнения шва от стенок. Пластические деформации наблюдались только на одном шве глубиной 25 см, устроенном на городском путепроводе через три года эксплуатации.

В общем случае надежность и деформационная устойчивость шва определяются следующими факторами:

- климатическим районом эксплуатации (расчетная скорость охлаждения, перепад температур);
- длиной мостовых балок;
- шириной и глубиной деформационного шва;
- реологическими свойствами мастики и асфальтобетонного покрытия;
- конструктивными особенностями шва.

При оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) шва важнейшим условием является объективный учет реологических свойств заполнителя шва. С этой целью были получены зависимости модуля релаксации материала заполнителя от температуры (T), скорости деформации (V) и времени (t):

$$E_p = f(T, V, t). \quad (6.1)$$

Скорость деформации затем увязывалась с длиной балки, скоростью ее охлаждения и шириной шва.

Расчеты НДС выполняли методом конечных элементов путем замены модуля упругости расчетным значением модуля релаксации.

Для оценки коэффициента запаса из условия устойчивости к пластическим деформациям определяют угол внутреннего трения, коэффициент удельного сцепления и оценивают напряжения от расчетного автомобиля.

В результате проведенных расчетов удалось подобрать оптимальные параметры свойств материала заполнителя шва.

Расчеты конструкции закрытых деформационных швов методом конечных элементов позволили определить уровень напряженного состояния в различных точках шва при его деформации (рис. 6.3, 6.4, 6.5).

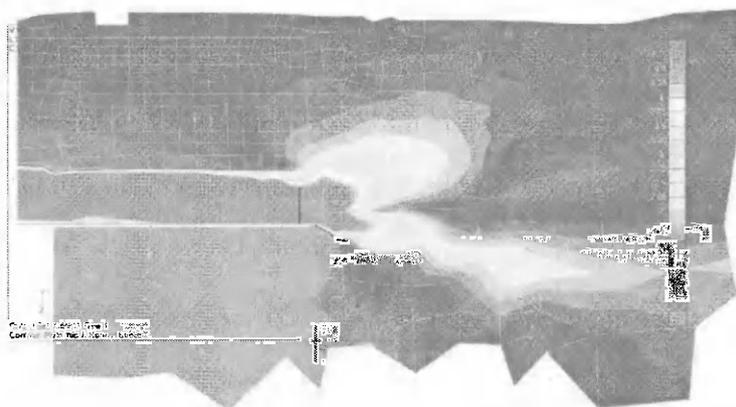


Рис.6.3. Изолинии напряжений в ЭДШ с нарушенным сцеплением по плоской металлической пластине

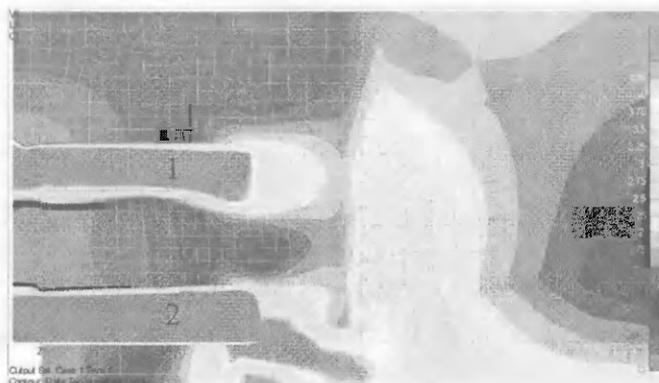


Рис. 6.4. Изолинии напряжений в ЭДШ: при криволинейной металлической пластине и нарушенном сцеплении материала заполнения – 1; при плоской металлической пластине и ненарушенном сцеплении – 2.

При этом установлено, что уровень напряженного состояния можно изменять, используя кроме материаловедческих также технологические и конструктивные решения, такие как:

- предотвращение сцепления материала заполнения шва с металлической пластиной перекрытия зазора между пролетными строениями путем устройства прослойки из антиадгезива;
- придание криволинейного профиля металлической пластине перекрытия зазора между пролетными строениями с нарушенным сцеплением материала заполнения по пластине.

При отсутствии сцепления материала заполнения шва с металлической пластиной (рис. 6.3) величина напряжений, возникающих на контакте с покрытием, снижается в среднем на 10–15% по сравнению с вариантом, когда сцепление обеспечено (рис. 6.4 поз. 2).

Использование металлической пластины перекрытия зазора между пролетными строениями с криволинейным профилем и нарушенным сцеплением материала заполнения шва по пластине позволяет снизить напряжения на контакте с покрытием в среднем на 30–35% (рис. 6.4, рис. 6.5 поз. 1) по сравнению с плоской металлической пластиной и наличием сцепления. На 15–20% снижаются напряжения на контакте с покрытием в случае криволинейного профиля пластины и нарушенного сцепления по пластине по сравнению с вариантом использования плоской пластины с нарушенным сцеплением (рис. 6.5).

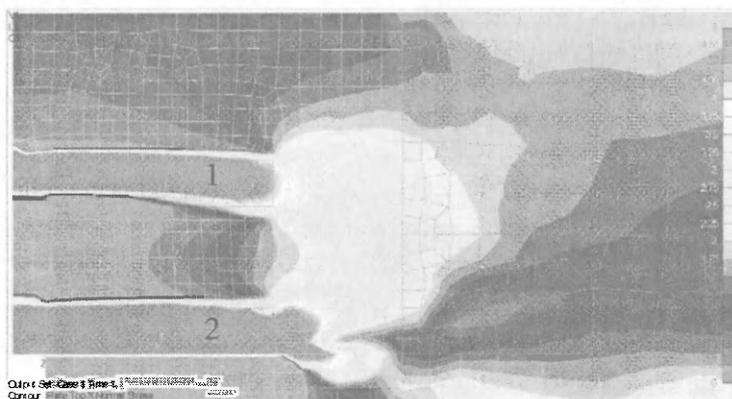


Рис. 6.5. Изолинии напряжений в ЭДШ: с криволинейной металлической пластиной и нарушенным сцеплением по пластине – 1; с плоской металлической пластиной и нарушенным сцеплением по пластине – 2.

Таким образом, использование пластин перекрытия зазора с криволинейным профилем поверхности и нарушенным сцеплением материала заполнения шва по поверхности пластин позволяет исключить образование трещин на сопряжении покрытия моста с материалом шва. При использовании полимерного клея в качестве грунтовки стенок покрытия достигается величина сцепления на контакте, превышающая прочность материала шва на растяжение в 1,2 раза.

Большое влияние на деформативность, прочность и сдвигоустойчивость материала заполнения швов оказывают исходные материалы, используемые для их устройства. Изучение реологических характерис-

тик композиций, состоящих из смеси щебня и битумно-полимерного герметика, изготовленных способом пропитки, показали, что свойства их в наибольшей степени зависят от свойств битумно-полимерного герметика и его содержания в композиции. Испытания композиций на основе битумно-полимерных герметиков «Новомаст-90Ш» по ТУ 5775-001-18893843-99, имеющих предельное относительное удлинение при температуре -20°C 107% и 170% и щебня фракции 15-20мм показали, что предельная относительная деформация композиции увеличилась в 2,2 раза, но при этом сдвигоустойчивость снизилась в 1,2 раза (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Наименование показателей	Значение для композиции на битумно-полимерном герметике с предельным относительным удлинением	
	107%	190%
Время релаксации, с	90	67
Прочность на растяжение при -20°C , МПа	1,8	1,72
Предельная относительная деформация, %	8	17,6
Модуль упругости, МПа	100	79
Сдвигоустойчивость, Дж	3,4	4,2

Снижение сдвигоустойчивости материала заполнения швов при ширине их более 40 см может привести к образованию пластических деформаций. Как показали результаты наблюдений, наиболее подвержены пластическим деформациям эластичные деформационные швы большой толщины (более 150 мм), швы, расположенные в зонах интенсивного торможения автотранспорта, и швы шириной более 75 см.

Дисперсное армирование материала заполнения шва базальтовой или стекловолоконистой фиброй позволяет повысить прочность на растяжение при изгибе в 1,5 раза. Величина предельной деформации при этом практически не изменяется. Оптимальная дозировка фибры для объемного армирования материала заполнения шва составляет 0,3% по массе. Сдвигоустойчивость дисперсно армированной композиции битумно-полимерного герметика и фракционированного щебня возрастает в 1,2 раза.

Таким образом, разработаны эффективные составы материалов заполнителей деформационных швов, учитывающие район строительства и конструкцию моста на основе отечественных материалов и технологий, не уступающие зарубежным аналогам.

Применяют мастики также для устройства различных трещинопрерывающих систем, о чем будет изложено ниже (раздел 6.3).

На битумо-полимерные мастики разработан стандарт СТБ 1092-97 «Мастика герметизирующая битумно-эластомерная. Технические условия».

Мастика в зависимости от назначения, дорожно-климатических зон и температуры размягчения подразделяется на марки:

Т-65 — для заполнения трещин (Т) в асфальто- и цементобетонных покрытиях автомобильных дорог и аэродромов для различных дорожно-климатических зон;

Ш-75 — для заполнения температурных продольных и поперечных швов (Ш) в покрытиях автомобильных дорог и аэродромов, а также швов сопряжения между цементобетонным покрытием и асфальтобетоном обочины автомобильной дороги для 1, 2 дорожно-климатических зон за исключением мест с расчетной температурой покрытия минус 45 °С;

Ш-90 — для заполнения температурных продольных и поперечных швов (Ш) в покрытиях автомобильных дорог и аэродромов, а также швов сопряжений между цементобетонным покрытием и асфальтобетоном обочины автомобильной дороги для 3, 4 дорожно-климатических зон;

Ш-100 — для заполнения температурных продольных и поперечных швов (Ш) в покрытиях автомобильных дорог и аэродромов, а также швов сопряжений между цементобетонным покрытием и асфальтобетоном обочины автомобильной дороги для 5 дорожно-климатических зон;

Г-90 — для гидроизоляции мостов, путепроводов для различных дорожно-климатических зон и гидроизоляции фундаментов и цоколей зданий и сооружений.

К свойствам мастик предъявляют следующие технические требования (таблица 6.2).

Таблица 6.2

Наименование показателя	Норма для марки				
	Т-65	Ш-75	Ш-90	Ш-100	Г-90
1. Температура размягчения по КиШ, °С, не ниже	65	75	90	100	90
2. Предел прочности при растяжении, МПа, не более	0,09	0,09	0,11	0,11	0,11
3. Прочность сцепления с основанием, МПа, не менее	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13

Наименование показателя	Норма для марки				
	Т-65	Ш-75	Ш-90	Ш-100	Г-90
4. Относительное удлинение при максимальной нагрузке при температуре 20 °С, %, не менее	—	45	45	45	—
5. Относительное удлинение при растяжении в момент разрыва, %, не менее при 20 °С	100	450	450	300	300
при минус 20 °С	30	120	100	50	50
6. Упругость, %, не менее	35	45	50	50	40
7. Упругость после искусственного старения, %, не менее	30	40	45	45	35
8. Сопротивление текучести, мм, при температуре 60 °С	—	0-3	—	—	—
при температуре 70 °С	—	—	0-3	—	0-1
при температуре 80 °С	—	—	—	0-3	—
9. Водопоглощение, %, не более	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
10. Стойкость к циклическим деформациям при температуре минус 20 °С, количество циклов/относительное удлинение, %, не менее	—	3/50	3/50	3/25	—
11. Пенетрация при 25 °С, не более	50	90	70	70	50

6.2. Материалы для ремонта цемента- и железобетона

Проблема ремонта цементобетонных покрытий состоит в сложности обеспечения «приживаемости» старого и нового цементобетона. Поэтому проблема ремонта цементобетонных покрытий является актуальной. Предлагаются различные инженерно-технические решения.

Например, в центре транспортных исследований Техасского университета рассматриваются основные направления по применению тонких цементобетонных покрытий для ремонта старых дорожных участков с учетом следующих факторов: повышения качества строительства, уменьшения толщины покрытия, увеличения срока службы, снижения стоимости, улучшения поверхности цементобетонного покрытия, совмещения старого и нового бетона, совершенствования дорожных машин и механизмов, изучения влияния водно-теплового режима и погодно-климатических условий на долговечность покрытий.

Перспективными материалами для ремонта покрытий магистралей являются: бетон нормальной прочности, высокопрочный бетон, поли-

мерцементный бетон, бетоны с различными добавками, фибробетон, непрерывно армированный цементо- и полимербетон.

Сущность технологии по устройству тонкослойных покрытий заключается в необходимости приклеить на существующую структуру покрытия слой тонкого бетона (4–6 см), который увеличивает несущую способность плиты, улучшает характеристики поверхности (ровность, однородность), но не изменяет характер взаимодействия между плитами. Одна из главных сложностей метода — обеспечить надежное сцепление между старым и новым покрытием, которому будут мешать сдвигающие напряжения, появляющиеся на границе раздела, вызванные температурными градиентами во время твердения бетона.

Поэтому важно найти механизм, позволяющий уменьшить эффект «температурного градиента». Чтобы ограничить этот эффект, нужно найти простую по применению систему, изолирующую твердеющий бетон. С этой целью в Парижской лаборатории аэропортов пять материалов подверглись тестированию по двум критериям: изолирующая способность и отражательная (тепла) способность. Это такие материалы, как геомембрана, геотекстиль, не прошитый полиэстером, металлизированный полиэтилен (толщиной 50 микрон), металлизированный полиэтилен на песчаной подушке толщиной 3 см, металлизированный полиэтилен на подушке из полиэстера толщиной 3 см.

Исследования заключались в оценке температурного градиента в существующих плитах толщиной 30 см. Температурные датчики помещались на глубине 2 и 25 см.

В результате проведенных исследований было установлено, что геомембраны не дают нужного эффекта. Все остальные материалы эффективны, но металлизированный полиэтилен представляет наилучший компромисс между ценой–эффективностью–легкостью использования. Это решение и было использовано на экспериментальном участке. Конструкция покрытия была принята следующей: бетон толщиной 22 см, с размером плиты 5?5 м на неукрепленном основании. Слой усиления имел толщину 5 см.

Особой сложностью отличается технология ремонта сколов выбоин и других достаточно мелких дефектов, когда применить различные прослойки и эффективные укладочные машины затруднительно.

Когда речь идет о ремонте разрушенной конструкции, необходимо использовать высококачественный ремонтный раствор или бетон, чтобы исключить разрушение нового материала от тех же факторов, от которых был разрушен старый. С другой стороны, в большинстве слу-

чаев рабочие условия для производства ремонтных работ гораздо сложнее, чем условия производства самих строительных работ: вот почему очень важно, чтобы ремонтный материал был легко укладываемым. Необходимо, чтобы материал легко либо подавался через насос, либо заливался в форму: он должен обладать высокой текучестью в течение довольно продолжительного периода времени. В то же время важно иметь низкое содержание воды затворения. Следовательно, бетонный раствор для ремонта старых разрушенных конструкций должен иметь низкое водоцементное соотношение и наряду с этим обладать отличной удобоукладываемостью. Эти два противоречивых требования соблюдаются, если использовать смеси с низким водоцементным соотношением, но обладающие удобоукладываемостью благодаря добавке суперпластификаторов.

Однако и в этом случае не гарантируется полный успех ремонта из-за неизбежной усадки смеси. Понижение водоцементного отношения снижает усадку, но не исключает ее полностью. В то время как в старой разрушенной бетонной конструкции уже произошла усадка, новый ремонтный раствор или бетон также подвергается усадке: последовательное дифференциальное движение между новым и старым материалами будет являться главной причиной разрыва двух материалов. Следовательно, при сцеплении ремонтного материала со старой конструкцией предпочтение следует отдавать такому базовому свойству, как компенсация усадки.

В целом бетонный раствор для ремонта должен отвечать следующим требованиям:

- высокой текучестью для быстрой и полной заливки дефектных мест при ремонте разрушенных конструкций;
- низким водоцементным отношением, чтобы обеспечить наилучшие химические, физические и механические характеристики: непроницаемость, прочность, сцепление со сталью и бетоном, долговечность и т. д.;
- компенсация усадки раствора, т. е. исключение отслоения от старого материала;
- стабильность качества.

В этом плане интересны материалы, разработанные фирмой МАС (Италия) под названием ЭМАКО.

ЭМАКО — это специфическая группа продуктов, с помощью которых раствор можно сделать компенсирующим усадку и реопластичным, т. е. обладающим высокой текучестью при механическом воздействии (перемешивании) и вязким в стадии покоя. Все продукты

ЭМАКО упакованы в 30-килограммовые влагостойкие пакеты, удобные для хранения и транспортировки благодаря их небольшому весу. Для дорожной отрасли можно рекомендовать следующие типы смесей.

ЭМАСО S88 тиксотропный тип — готовый к применению сухой продукт. При замесе с водой он образует реопластичный, текучий и не расслаивающийся раствор. ЭМАСО S88 относится к компенсирующим усадку, непроницаемым материалам, обеспечивающим высокую прочность и отличное сцепление со сталью и бетоном. Стоек к агрессивной среде. Имеются два типа этого материала — С и D, которые отличаются сроками схватывания.

ЭМАСО SFR — готовый к применению продукт, содержащий гальванизированные стальные волокна. При замесе с водой образует реопластичный — текучий и нераслаивающийся — тиксотропный, компенсирующий усадку раствор, обладающий высоким сцеплением со сталью и бетоном, а также высокой прочностью даже в агрессивном окружении. За исключением стальных волокон в продукте не содержатся ни реактивные металлические порошки, ни хлориды. ЭМАСО SFR обладает повышенной стойкостью к динамическим нагрузкам, вязкостью разрушения и высокой прочностью на изгиб.

ЭМАСО 100 — двухкомпонентная система, которая состоит из сухого продукта (компонент А) и жидкого (компонент В). При смешивании с водой образует тиксотропный, компенсирующий усадку, непроницаемый раствор, обладающий высокой стойкостью к агрессивному окружению, а также высоким сцеплением со сталью и бетоном. Особенностью материала ЭМАСО 100, в отличие от других продуктов серии ЭМАСО, является его способность к объемному расширению для компенсации усадки даже при отсутствии влажностного выдерживания раствора.

При выполнении больших объемов ремонтных работ, связанных с заменой отдельных плит покрытия или их фрагментов, восстановлением несущих конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивной среды, цементации полостей, каналов с преднапряженной арматурой, герметизации стыков и заделки усадочных трещин, крепления анкеров, а также для получения быстротвердеющих реопластичных бетонов с компенсированной усадкой широко используется **пластифицированный расширяющийся портландцемент «Макфлоу»**.

Цемент «Макфлоу» производится на основе портландцементного клинкера нормированного минералогического состава, расширяющейся добавки и химических добавок, регулирующих свойства

цемента. В зависимости от прочности на сжатие и скорости твердения цемент «Макфлоу» подразделяется на классы: 42,5; 42,5Б; 52,5; 52,5Б; 62,5; 62,5Б.

В отличие от обычных бетонных смесей на стандартном портландцементе, бетонные смеси на цементе «Макфлоу» обеспечивают:

- высокую текучесть и отсутствие сегрегации смеси при низком водоцементном отношении;
- высокую раннюю и конечную прочность бетона;
- получение бетона, не обладающего усадкой в пластичном и затвердевшем состоянии;
- высокую морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

Для ремонта транспортных сооружений в сжатые сроки и с минимальным перерывом в их эксплуатации (до 2-х-3-х часов) наиболее эффективными являются ремонтные материалы на основе искусственных смол. Основными недостатками бетонов на основе искусственных смол являются большая усадка в процессе твердения, величина которой при неправильном подборе состава может достигать 8–12% и большая величина температурных деформаций в процессе последующей эксплуатации, которая в 2–3,5 раза превышает температурную деформацию цементобетона. Различные физические свойства бетонов на основе минеральных вяжущих и бетонов на основе искусственных смол не позволяют широко использовать последние для выполнения ремонтных работ. Но для выполнения работ в небольших объемах и в короткие сроки материалы на основе искусственных смол являются более предпочтительными.

Одними из наиболее приемлемых и апробированных на практике являются материалы на основе **метакрилатных смол, выпускаемые под торговой маркой «Силикал»**. Материалы «Силикал» относятся к двухкомпонентным реактивным смолам, не содержащим растворителей, а следовательно, и имеющих минимальную усадку в процессе твердения. Для обеспечения прочного сцепления бетона на основе искусственной смолы с ремонтируемыми поверхностями всегда предпочтительно использовать грунтовочные составы, обладающие малой вязкостью и большой проникающей способностью.

В качестве наполнителя для получения бетона на основе искусственной смолы «Силикал» используется сухой фракционированный кварцевый песок, который содержит в своем составе порошкообразный отвердитель — пероксид бензоила. Предварительно подготовленная смесь минерального наполнителя и отвердителя, в которую на месте

производства работ вводится только строго дозированное количество смолы, позволяет получать бетоны для ремонта стабильного качества с минимальной усадкой в процессе твердения и коэффициентом линейного температурного расширения $2,5 \times 10^{-5}$ град.⁻¹.

Благодаря несущественному влиянию температуры на вязкость метакрилатной смолы и большой экзотермии в процессе полимеризации материал «Силикал» можно использовать для выполнения ремонтных работ при отрицательных температурах до минус 10 °С.

Бетоны на основе искусственной смолы «Силикал» укладываются минимальной толщиной 6 мм, максимальная толщина укладки не ограничивается, но при укладке толщиной более 25 мм в состав бетонной смеси вводится дополнительно сухой фракционированный гравий.

Для ремонта мест неглубокого шелушения бетонных поверхностей используются материалы на основе модифицированных эпоксидных смол. Одним из материалов, хорошо зарекомендовавшим себя при работе в климатических условиях II и III дорожно-климатических зон СНГ, является «Конкретин».

Основным преимуществом эпоксидных смол «Конкретин» по сравнению с известными эпоксидными смолами ЭД-10, ЭД-16, ЭД-20, выпускаемыми отечественной промышленностью, является малая начальная вязкость, отсутствие растворителей в составе, низкий модуль упругости в затвердевшем состоянии и большое предельное относительное удлинение.

Для повышения сцепления эпоксидной смолы «Конкретин» с бетонным покрытием используется маловязкая, не содержащая растворителя смола «Конкретин IHS-BV». Минимальная прочность сцепления грунтовочного состава с бетонной основой превышает 1,5 МПа. Расход смолы для грунтовки в зависимости от пористости бетонной поверхности составляет 300–500 г/м².

При глубоких повреждениях для выравнивания поверхности бетона используется эпоксидная смола «Конкретин GMH» в смеси с фракционированным кварцевым песком. Одновременно смола «Конкретин GMH» может использоваться для устройства слоев покрытия толщиной до 3 мм.

Для укрепления поверхности бетона и предотвращения процессов развития шелушения используют различные пропиточные составы.

Пропиточные укрепляющие составы можно разделить на две группы. К первой группе относятся составы, обеспечивающие паропроницаемость бетона, ко второй составы, после обработки которыми

поверхность бетона теряет паропроницаемость из-за образования тонкой пленки.

Как отмечается в [45], наибольшее распространение нашли два состава: **Олис** и **Микродур**.

Применение состава **Олис** позволяет [45]:

- придать бетону водоотталкивающие свойства, защищая его при этом от воды и препятствуя фильтрации влаги;
- увеличить морозоустойчивость бетона;
- обеспечить препятствие проникновению в бетон солей, хлоридов, сульфатов, фосфатов, масел, растворителей и образует твердое пыленепроницаемое покрытие;
- увеличив твердость поверхности покрытия.

Расход состава для защиты поверхности бетона составляет 0,15–0,4 л/м² в зависимости от состояния бетона.

Обработка поверхности производится кистью, валиком или распылителем обычно в три слоя с контролем за образованием кристаллов на поверхности бетона после нанесения каждого слоя.

Срок службы защитного покрытия при отсутствии механического воздействия на бетонную поверхность (истирание) не ограничен, т. е. равен сроку службы бетона, так как продукты химического взаимодействия фторсиликата магния или цинка со свободной известью и щелочными гидратами становятся неотъемлемой частью бетонной матрицы.

Состав Олис представляет собой раствор фторсиликата магния или цинка в воде. При нанесении на поверхность бетона он образует плотное твердое покрытие. Это минеральное армирование образует плотную поверхность, которая в значительной степени снижает адсорбцию воды, масел, смазок, солей, хлоридов и фосфатов бетоном.

Для укрепления бетона могут применяться и другие составы, которые в настоящее время в большом количестве находятся на отечественном рынке. Для решения вопроса о пригодности того или иного состава (помимо экономических соображений) необходимо, чтобы составы обеспечивали водонепроницаемость с одновременным сохранением паропроницаемости. Второе требование — обеспечение надлежащего коэффициента сцепления на влажном покрытии. Третье — устойчивость во времени: свойства обработанной поверхности должны сохраняться, как минимум, не менее одного года.

Особыми свойствами обладает пропиточный состав на основе цемента «Микродур».

Материалы типа «Микродур» являются особо тонкодисперсными цементами, предназначенными для приготовления суспензий. После перемешивания с водой с помощью высокооборотного смесителя суспензия приобретает очень высокую пенетрационную способность. Это позволяет применять ее для уплотнения, упрочнения и восстановления качества бетонных и железобетонных конструкций. Применяют следующие виды материала:

- «Микродур Р» — изготавливаемый из портландцементного клинкера;

- «Микродур R» — изготавливаемый с повышенным содержанием тонкомолотого доменного шлака, что обуславливает его повышенную сульфатостойкость.

Материалы типа «Микродур» рекомендуется применять в случаях, когда требуется укрепить бетон.

Технология работ примерно такова:

- подготовка поверхности бетонной плиты: очистка, увлажнение;
- приготовление водной суспензии «Микродура» с водоцементным отношением 0,5–0,7 с добавкой суперпластификатора (19% от массы цемента).

- приготовление суспензии должно производиться в емкости с помощью высокооборотного (3000...7000 об/мин) миксера в течение 1...3 минут.

- нанесение и втирание суспензии «Микродура» на обрабатываемую поверхность с помощью щеток до прекращения впитывания в бетон.

- уход за поверхностью бетона — обычными средствами.

В то же время следует отметить, что применение материалов на основе гидравлических вяжущих для ремонта цементобетонных покрытий в условиях РБ не нашло широкого применения. Связано это с их высокой стоимостью и требованиями жесткого соблюдения технологии. Поэтому усиление в основном производят путем укладки одного или нескольких слоев асфальтобетона, а ремонт сколов и выбоин производят литым асфальтобетоном.

Железобетонные строительные конструкции (мостов, путепроводов) в процессе эксплуатации теряют свои свойства и требуют определенного вида ремонта. Обусловлено это процессами коррозии бетона и арматуры, изменением уровня нагрузок, изменением климатических условий и т. д. В качестве ремонтных мероприятий обычно используют:

- Нанесение дополнительного слоя бетона или пневмобетона с дополнительной арматурой.

- Выполнение мероприятий по защите арматуры.
- Внешнее предварительное напряжение.
- Дополнительный монтаж опор или, соответственно, балок-подхватов.
- Наклеивание арматуры из стали.

В последнее время в качестве альтернативы данным мероприятиям используют волокнистые композитные материалы. Ведущие позиции в этом направлении занимает швейцарская фирма S&P Clever Reinforcement Company, располагающая заводами в Швице (Швейцария) и Айзенштадте (Австрия).

В волокнистом композитном материале исходные волокна укладываются в полимерную матрицу и в качестве усиливающего элемента прикрепляются к уже существующей строительной конструкции. Для увеличения несущей способности применяют предварительно изготовленные волокнистые композитные материалы (S&P CFK-ламели). Поскольку предварительно изготовленные ламели не могут использоваться в качестве обматывающей арматуры или арматуры, работающей на скалывание (сдвиг), то фирма «S&P Reinforcement» предлагает соответствующую ткань и вставные элементы, состоящие из самых различных волокон, для ручного ламинирования на строительной площадке.

Виды волокнистых композитных материалов

Вид материала	Направление волокон	Расположение волокон	Область применения
S&P C-полотна	вставные элементы в одном направлении	_____ вытянутое	повышение жесткости
S&P G-полотна	ткань в двух направлениях	~~~~~ волнообразное	повышение пластичности
S&P CFK-ламель	ламинат в одном направлении	_____ вытянутое (частично предварительно напряженное)	повышение жесткости

В C-полотне S&P, а также в предварительно изготовленной CFK-ламели S&P волокна располагаются в вытянутом состоянии. Соответствующим образом, эти продукты являются подходящими для приема растягивающего усилия при минимальном относительном удлинении. Вставные уложенные элементы, а также ламели применяются с тенденцией к повышению жесткости конструктивных строительных элементов.

Наиболее распространенными видами волокон являются: стекло- и углеродные волокна. Они имеют высокий E-модуль; минимальный коэф-

коэффициент термического расширения (примерно в 50 раз меньше, чем у стали); отличные усталостные характеристики; устойчивость против всех возможных химических воздействий; устойчивость к коррозии.

CFK-ламинаты получают методом ленточной вытяжки. Углеродные волокна непрерывно окунаются в эпоксидную смолу и отверждаются под термическим воздействием. Максимально возможная наполненность волокном, обусловленная технологией процесса, составляет около 70%. Исходя из свойств волокон и матрицы, можно теоретическим путем определить константы упругости для случая однонаправленного (унидирекционального) слоя (CFK-ламели). Поскольку E-модулем, а также пределом прочности при растяжении матрицы для расчетов ламината можно пренебречь, то E-модуль, а также предел прочности при растяжении ламината составляют приблизительно 70% от соответствующих значений для углеродных волокон.

S&P CFK-ламели производятся по новой технологии изготовления. Для изготовления S&P-гибридов используются различные углеродные волокна с различным E-модулем и различным пределом прочности при растяжении. В нормальном случае изменение E-модуля гибридного ламината имеет нелинейную зависимость. Высокомодульные углеродные волокна с низким значением относительного удлинения при разрыве разрушаются раньше, чем низкокомодульные волокна. В S&P-гибриде, напротив, углеродные волокна с более высоким значением относительного удлинения подвергаются предварительному напряжению в процессе изготовления. Это приводит к появлению линейной зависимости изменения модуля упругости E в S&P-ламинате. Благодаря технологии гибридизации имеется возможность использования недорогих углеродных волокон с низким E-модулем.

Дополнительная внешняя S&P CFK-ламель с помощью клея S&P Epoxy Resin 220 прикрепляется достаточно прочно против возможного сдвига в зоне растяжения конструкционного строительного элемента, к которому прикладывается напряжение изгиба. Благодаря такого рода операции получают железобетонный конструкционный элемент с упруго-пластичной (железобетон) и идеально упругой (S&P CFK-ламель) затяжкой (подбалкой). С помощью опытов с композитными материалами были сформулированы подходы для расчета несущей способности такого соединения и длины анкерных креплений.

Ламинаты приклеивают к поверхности конструкции в зоне растяжения. Для приклеивания используют специальные клеи (S&P Resin 50/55, S&P Resin 50/55 EUW).

6.3. Материалы для устройства трещинопрерывающих прослоек

На вновь устраиваемых покрытиях возможно копирование дефектов нижних слоев и оснований (отраженные дефекты). Это относится в основном к температурным отраженным трещинам.

Отраженные трещины (ОТ) — продольные и поперечные трещины в дорожном покрытии, возникающие в местах наличия трещин в нижних слоях или основании. ОТ возникают при устройстве асфальтобетонного покрытия на цементобетонном основании, имеющем деформационные швы, а также при укладке новых слоев асфальтобетона на старое покрытие с наличием трещин (средний и капитальный ремонт). Причиной появления ОТ является концентрация напряжений в районе трещины, возникающих от температурных деформаций при охлаждении слоя.

В общем случае вероятность появления отраженных трещин определяется следующими факторами:

$$P = f\left(\frac{L, \Delta T, E_a, E_o, h_o, C}{h_a, N}\right), \quad (6.2)$$

где L — расстояние между трещинами;

ΔT — перепад температуры в слое с трещинами в расчетный период;

E_a, E_o — модули релаксации нового слоя покрытия и слоя с трещинами соответственно;

h_a, h_o — толщины нового слоя и слоя с трещинами соответственно;

C — прочность сцепления нового покрытия и слоя с трещинами;

N — параметр, учитывающий ширину раскрытия трещины и ее форму.

Чем выше значения параметров числителя формулы (6.2), тем выше вероятность появления отраженных трещин и наоборот, чем выше знаменатель, тем меньше вероятность появления трещин.

Анализ 6.2 позволяет наметить основные пути борьбы с отраженными трещинами: увеличение толщины покрытия, устройство трещинопрерывающих слоев и трещинопрерывающих мембран, разделение слоев с наличием трещин на отдельные фрагменты (размером до 1 м), снижение толщины слоя с трещинами (путем фрезерования).

Трещинопрерывающий слой — слой из зернистого или обработанный небольшим количеством битума (до 3%) специальной смеси (смесь различных фракций щебня), укладываемый между покрытием с наличием трещин и новым покрытием с целью предотвращения появления

отраженных трещин. Благодаря зернистости и низкой прочности на растяжение, вследствие появления и ветвления трещин, подобный слой активно гасит концентрации напряжений в районе трещин. Толщина слоя 4–15 см.

Трещинопрерывающая мембрана — тонкий слой (до 3 см), укладываемый между покрытием с наличием трещин и новым покрытием, с целью предотвращения появления отраженных трещин.

Трещинопрерывающая мембрана должна иметь высокие деформационные характеристики, благодаря которым напряжение интенсивно релаксируют и не передаются на новое покрытие. Существует несколько методов устройства мембран.

Одним из путей решения проблемы отраженных трещин путем устройства мембран является использование геосинтетиков, которые за рубежом применяются уже более 30 лет.

В настоящее время существует большой ряд торговых марок и фирм, производящих подобные материалы. Геосинтетики производятся в Германии, Польше, Венгрии и др. В РБ данный вид продукции выпускает Полоцкий завод «Стекловолокно». Однако качество продукции данного завода требует совершенствования. Геосинтетики, произведенные компанией HUESKER Synthetic GmbH & Co. (Германия), хорошо зарекомендовали себя во всем мире и позволяют решать многие проблемы строительства и эксплуатации транспортных магистралей: в том числе:

- предотвращают образование трещин в дорожном покрытии;
- повышают несущую способность грунтов при строительстве дорог;
- способствуют укреплению насыпей и откосов при строительстве на слабых грунтах.

Использование гибкой армирующей сетки HaTelit позволяет задерживать, а в некоторых случаях и предотвратить появление отраженных трещин в асфальтобетонных покрытиях.

Сетки HaTelit производятся фирмой HUESKER Synthetic GmbH & Co. из волокон полиэстера, соединенных между собой с образованием крупных ячеек. Полиэстер имеет механические характеристики и модуль упругости, близкие к аналогичным характеристикам асфальтобетона. Для лучшего сцепления с асфальтобетоном сетки покрывают битумом, что улучшает способность воспринимать и перераспределять растягивающие напряжения.

В настоящее время фирма выпускает несколько стандартных типов сеток, из которых наибольшее распространение получили сетки HaTelit 40/17 и HaTelit C40/17. Сетка HaTelit C40/17 имеет с одной сто-

роны прикрепленное легкое нетканое полотно, которое облегчает укладку и обеспечивает беспрепятственную связь между слоями асфальтобетонного покрытия.

Обычно асфальтобетонные покрытия характеризуются невысоким показателем прочности при растяжении. Армирующие сетки HaTelit увеличивают прочность при растяжении, воспринимают значительную часть горизонтальных растягивающих напряжений и равномерно распределяют ее на большую площадь.

Сетки имеют следующие характеристики:

масса, 1 м. кв. г. 330. Предельная прочность при растяжении, кН/м продольная — 50, поперечная — 50. Удлинение при разрыве, % продольная — 12/поперечная — 14. Прочность при 3%-ном удлинении, % продольная — 12/поперечная — 12.

Геосетки HaTelit широко используются при строительстве автодорог, взлетно-посадочных полос, гидротехнических сооружений и др. В России геосетки HaTelit применялись при реконструкции МКАД, аэродромов Внуково, Домодедово (Москва) и др.

При ремонте дорожного полотна возможно армирование как по всей площади, так и локально по предполагаемым источникам трещин, например, по швам плит, лежащих в основании покрытия, и по сопряжению старого и нового полотна.

Вместо геосеток могут использоваться георешетки. Георешетки Fortrac представляют специально сотканые структуры из высокомолекулярных полиэфирных волокон, покрытых дополнительным защитным слоем поливинилхлорида. Материалы обладают высокой химической и биологической стойкостью, а ПВХ-покрытие предохраняет их от УФ-излучения и механических повреждений.

Георешетки эффективны также при строительстве дорог на слабых грунтах или укрепительных работах.

Находит применение также геотекстиль Stablenka (продукция фирмы HUESKER Synthetic GmbH & Co.). Он эффективен также при проведении земляных работ с армированием грунта при небольших допустимых деформациях.

Геотекстиль Stablenka представляет собой ткань из полиэстера в продольном направлении (основа) и полиамида или полиэстера в поперечном направлении. Материал обладает высокой прочностью при растяжении, выдерживает высокие растягивающие нагрузки при незначительном относительном удлинении и эффективен при необходимости армирования грунта при небольших допустимых деформациях. Суще-

твует девять стандартных типов материала с различными значениями прочности при растяжении до 1000 кН/м в продольном направлении.

Геотекстиль Stabilenka можно укладывать между грунтом и заполнителем насыпи. При этом несущая способность грунта значительно повышается и достигается необходимая прочность при сдвиге. В гидротехническом строительстве при сооружении дамб, волнорезов и пристаней геотекстиль Stabilenka может быть использован в виде армирующих матов.

В США также применяют прослойки из нетканых синтетических материалов для замедления процесса образования трещин на несколько лет. Нетканый материал употребляется как закрывающий поверхностный слой, при этом количество трещин существенно сокращается по сравнению с традиционным покрытием дороги.

В целом, на настоящий момент можно констатировать, что прослойки из синтетических материалов дают эффект для упрочнения и осушения земляного полотна, укрепления откосов и других видов земляных работ. Прослойки в этом случае укладываются в толще или на поверхности земляного полотна с обеспечением необходимого натяжения и стыковки (рис. 6.6).

Более сложным и спорным является вопрос применения прослоек для повышения несущей способности дорожной одежды.

Технология производства работ при устройстве трещинопрерывающих прослоек из геосинтетиков в несущих слоях дорожной одежды



Рис. 6.6. Применение синтетических материалов для упрочнения земляного полотна

заключается в следующем: очистка и ремонт старого покрытия дорожной одежды; подгрунтовка вяжущим ВВ 60/90 с расходом $1-2 \text{ кг/м}^2$; укладка геотекстильной прокладки с решетчатой или грубопористой структурой без соединения внахлест; пропитка текстильной прокладки вяжущим ВВ 60/90 с расходом от 1 до $1,5/\text{м}^2$; устройство покрытия. Для обеспечения качественного натяжения применяют специальные укладочные механизмы (рис. 6.7).

Укладку асфальтобетонной смеси ведут по традиционной технологии (рис. 6.8).

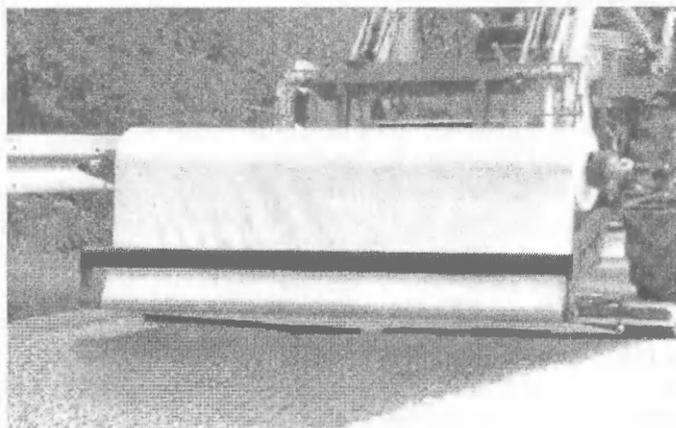


Рис. 6.7. Механизм натяжения синтетического материала



Рис. 6.8. Укладка слоя асфальтобетона поверх слоя из синтетического материала

В целом проблема повышения надежности и долговечности асфальтобетонных покрытий за счет применения прослоек геотекстиля до настоящего времени не имеет четкого научного обоснования.

Можно ожидать, что применение геосинтетиков позволит:

1. Уменьшить вероятность появления дефектов старого покрытия (в основном трещин) на новом покрытии.

2. Снизить толщину вновь устраиваемого дорожного покрытия (или повысить прочность дорожной одежды) за счет высоких деформационных показателей прослойки.

Если трещинопрерывающий эффект в ряде случаев подтвержден практикой, то вопрос повышения несущей способности еще требует доказательств. Дело в том, что на контакте асфальтобетона и прослойки наблюдается концентрация напряжений, и эффект может быть достигнут, если прочность клеевого слоя превысит прочность асфальтобетона, что сложно обеспечить на практике. Важно также правильно выбрать свойства прослойки. В силу вышеуказанных особенностей не всегда преимущество будут иметь жесткие высокомодульные прослойки.

В опытным порядке использовались прослойки из геосинтетиков на дороге М-1 [46]. Использовались стеклосетки отечественного производства (Полоцкого завода «Стекловолокно») и сетки фирмы «Heusker». Наблюдения показали, что применение сеток снижает количество отраженных трещин, однако не исключает их.

Кроме геотекстиля применяют в качестве мембран различные прослойки из обработанных вяжущим зернистых материалов. Например, слой Sami's из прорезиненного материала с битумом, нанесенным набрызгом, был уложен на дороге в штате Юта и сохранял свои свойства в течение 3-4 лет. Трещины на покрытии дороги отсутствовали, однако образовалось большое количество колея.

В качестве трещинопрерывающих слоев используют слои из специальной асфальтобетонной смеси.

Такой слой укладывается на старое дорожное покрытие с трещинами, проникает в них и предотвращает их расширение. Эта смесь содержит каменный материал с максимальным размером зерен 6,25 мм. Подстилающие слои служат 5 лет и более.

Применение трещинопрерывающих слоев из зернистых материалов с теоретической точки зрения достаточно эффективно. Однако они существенно снижают сцепление между слоями, что может привести к различным деформациям, в основном пластического характера. Поэ-

тому при их устройстве очень важно минимизировать толщину слоя, необработанного вяжущим.

Неплохие результаты в эксплуатации показали дискретные трещинопрерывающие мембраны из щебеночно-мастичной смеси, выполняемые фирмой «Ирмаст». В соответствии с данной технологией в районе трещины производится выборка асфальтобетона глубиной 1,5–2 см с последующим заполнением мастично-минеральной смесью (рис. 6.9). Подобные мембраны работают по аналогии с деформационными швами мостов (см. раздел 6.1) и обеспечивают неплохие эксплуатационные показатели (рис. 6.10).

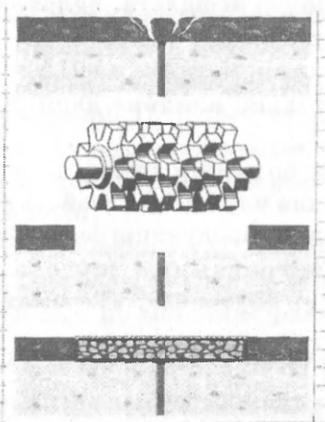


Рис. 6.9. Технология устройства трещинопрерывающей прослойки



Рис. 6.10. Вид покрытия с заделанными отраженными трещинами после 2-х лет эксплуатации

7. АСФАЛЬТОБЕТОНЫ С АДГЕЗИОННЫМИ И СТРУКТУРИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ

Под адгезионными и структурирующими добавками понимают вещества, вводимые в битум или асфальтобетонные смеси в небольших количествах (не более 5% от массы вяжущего) и обеспечивающие определенные изменения технологических, физико-механических и эксплуатационных свойств.

Большая гамма добавок была изучена в разделе 2. Поэтому мы здесь остановимся в основном на применении поверхностно-активных веществ (ПАВ), природного асфальта, волоконных наполнителей и компаундированных битумов.

Определения и механизм влияния ПАВ изложен в разделе 4. Здесь мы рассмотрим только влияние данных добавок на свойства асфальтобетона.

На рынке имеется большая гамма поверхностно-активных веществ, используемых для улучшения свойств асфальтобетонов и битумов. Здесь следует выделить продукцию фирм СЕСА, BASF, ICSO и других. Наиболее распространенные торговые марки: «Секабаз», «Полирам», «Терафлюкс», «Бутонал», «Терамин», «Диамин», «Аско», «ОЛБ» и ряд других.

Во всех случаях ПАВ представлены в основном полиаминами, отличающимися количеством активных групп и длиной органической цепи (видом жиров, используемых при производстве ПАВ).

На рынке РФ наиболее часто используются продукты российского производства («Амдор», «БП-3», «Дорад», Удом, Азол 1000М и др.). Характерное отличие Российских добавок состоит в том, что они содержат в своем составе, кроме соединений аминов, жирные кислоты, являющиеся анионным ПАВ. С одной стороны это расширяет диапазон применения добавок, переводит их в жидкое состояние. С другой стороны при высоких температурах могут происходить непредвиденные реакции разнородных по активности веществ.

Механизм влияния ПАВ связан, в основном, с улучшением адгезионной способности битума к кислотным (катионные ПАВ) или основным (анионные ПАВ) породам за счет химического взаимодействия активных групп ПАВ с поверхностью горной породы.

Однако при практическом применении данных добавок необходимо иметь в виду возможность появления негативных эффектов, к которым можно отнести: 1. При вводе в битум ПАВ взаимодействуют с

основными структурообразующими элементами битума (асфальтенами, карбенами, асфальтогеновыми кислотами), разрушая тем самым его структуру, снижая вязкость и когезионную прочность. 2. ПАВ, адсорбируясь на поверхности минералов, при их ошибочной дозировке могут снизить угол внутреннего трения минерального каркаса.

Поэтому при работе с ПАВ очень важно осуществлять точный подбор их количества и строжайше соблюдать дозирование на производстве.

Эффект от ввода ПАВ может быть утерян также при наличии загрязнения поверхности минеральной части пылеватыми и глинистыми частицами. В этом случае добавка ПАВ обеспечит хорошее сцепление с пылевой прослойкой, но не с минеральной частью, и эффекта в показателях морозостойкости можно не достичь.

Таким образом, применение ПАВ требует высокой культуры производства и эффективного научного сопровождения.

Возможный комплекс данных проблем рассмотрим на примере применения добавки Азол 1000М.

Для анализа влияния добавки «Азол 1000» были изготовлены две серии образцов асфальтобетона с наличием добавок и без. Результаты исследований, выполненные по методике раздела 1, представлены в таблице.

Стандартные показатели

№ состава	Наименование показателя			
	Средняя плотность, г/см ³	Набухание, %	Водонасыщение, %	Предел прочности на сжатие при 500С, МПа
1	2,48	0,01	0,88	1
2	2,48	0,09	0,48	1,03
3	2,49	0	0,53	1,05
4	2,49	0,10	0,21	1,10

Примечание: 1 — без добавки;
 2 — с добавкой 0,5% от массы битума;
 3 — с добавкой 1,0% от массы битума;
 4 — с добавкой 1,5% от массы битума.

Нестандартные показатели по методике раздела 1

Состав	Коэффициенты запаса из условия				Уровни надежности из условия				Общий уровень надежности
	Сдвигоустойчивости	Температурной трещиностойкости	Усталостной долговечности	Коррозионной стойкости	Сдвигоустойчивости	Температурной трещиностойкости	Усталостной долговечности	Коррозионной стойкости	
Без добавки	1,28	1,26	1,07	1,1	0,91	0,89	0,65	0,94	0,84
С добавкой 1,0% от битума	1,18	1,44	1,08	1,2	0,81	0,95	0,66	0,98	0,84

Состав	Наименование показателя		
	Внутреннее сцепление, МПа	Тангенс угла внутреннего трения	Предельная структурная прочность, МПа
Без добавки	0,208	0,898	3,75
С добавкой 1,0% от битума	0,203	0,881	3,77

Полученные результаты четко подтверждают высказанные ранее положения. Ввод добавки за счет разрушения структурного каркаса битума позволил снизить его вязкость и тем самым повысить плотность асфальтобетона. Это привело к некоторому росту показателей коррозионной стойкости. В то же время ввод добавки мало влияет на свойства материала, отвечающие за надежность материала по силовым факторам (сдвигоустойчивость, температурная и усталостная трещиностойкость).

Таким образом, принимая решение о вводе ПАВ, следует выполнить тщательный анализ технологической базы и расчет их эффективности по методике раздела 1.

В странах Западной Европы для улучшения свойств битума и асфальтобетона используют добавки природных битумов.

Данные добавки поступают на рынок в дробленном расфасованном состоянии (рис. 7.1) из Венесуэлы (Бермудское месторождение) или Тринидада (озеро Тринидад). Природные битумы богаты асфальтогеновыми кислотами, активными химическими соединениями и высоковязкой мальтеной частью. Кроме того, они содержат различные тонкодисперсные минеральные частицы. Все это повышает адгезию битумов, их температурную устойчивость и устойчивость к старению. Вводят данные добавки аналогично волокнам по отдельной технологи-



Рис. 7.1. Природный битум озера Тринидад

ческой линии в полиэтиленовых пакетах. Данных об эффективности их использования в РБ пока нет. Хотя в странах западной Европы (особенно Германии) они используются довольно широко. Учитывая достаточно невысокую стоимость (около 800 Евро/т), добавки природных битумов могут составить определенную конкуренцию другим.

В качестве структурирующих добавок могут использоваться различные порошкообразные и волоконные наполнители, выполняющие роль дискретной арматуры.

Эффективной структурирующей добавкой может служить портландцемент.

Мелкодисперсная фракция в асфальтобетоне занимает более 80% удельной поверхности. Поэтому от ее качества во многом зависит надежность асфальтобетона.

В настоящее время в составе асфальтобетонных смесей используются гранитные отсева и доломитовые минеральные порошки. Для изучения влияния соотношения этих компонентов на коррозионную стойкость были исследованы уровни надежности по данному показателю.

Установлено, что ввод пылеватых фракций может привести к снижению коррозионной стойкости. Особенно резкое падение наблюдается при содержании минерального порошка 4–5% и отсева 10–20%, что соответствует как раз наиболее распространенным составам в РБ (рис. 7.2).

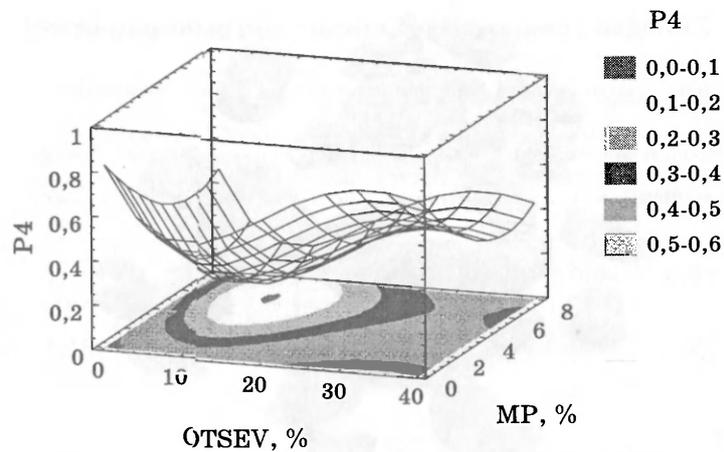


Рис. 7.2. Зависимость уровня надежности асфальтобетона по коррозионной стойкости от соотношения минеральный порошок-отсев

Обусловлено это агрегированием пылеватых частиц. При увеличении количества минерального порошка выше оптимального предела в системе минеральный порошок-вяжущее появляется воздушная фаза, увеличивается пористость, битума не хватает для обволакивания минеральных зерен, появляются контакты по твердой поверхности. Все это приводит к резкому снижению коррозионной стойкости.

Наличие частиц доломита, имеющих знак «+» и гранита — знак «-» приводит к усилению агрегированию пылеватых частиц.

С целью ликвидации этих негативных явлений было решено заменить доломитовый минеральный порошок, цементом.

Исследования показали, что ввод цемента увеличивает коррозионную стойкость независимо от количества отсева (рис. 7.3).

Обусловлено это процессами гидратации цемента, которые приводят к омоноличиванию флоккул и прорастанию кристаллов в битумные пленки, что ведет к росту адгезии. Таким образом, путем замены доломитового порошка цементом можно добиться существенного увеличения уровня надежности по коррозионной стойкости.

На практике в состав смеси целесообразно вводить 3–5% цемента.

Волоконная дискретная арматура по происхождению делится на: органическую и минеральную (неорганическую).

К органической относят волокна целлюлозы, а также различные синтетически (полипропиленовые, полиамидные, полиэстеровые и др.) волокна.

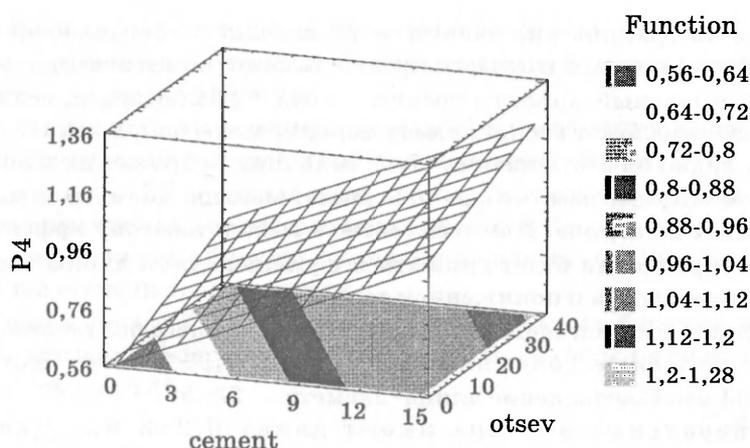


Рис. 7.3. Зависимость уровня надежности асфальтобетона по коррозионной стойкости от содержания отсева и цемента

К неорганической — стекловолокно, углеродные волокна, базальтовые и диабазовые волокна, металлическое волокно.

В настоящее время для дисперсного армирования асфальтобетона используют в основном органические волокна, цементобетона — минеральные. Однако возможно применение и комбинации волокон. Например, в Швеции в состав щебнемастичного асфальтобетона вводят комбинацию волокон целлюлозы и диабазовых волокон.

Дискретная арматура в составе асфальтобетонных смесей может выполнять две функции: технологическую и структурирующую (упрочняющую). Технологическая функция заключается в предотвращении расслаивания смесей, обогащенных битумом (щебнемастичные асфальтобетоны). Данный вопрос был рассмотрен в разделе 5.4. Для технологических целей используют в основном короткие целлюлозные волокна, соизмеримые с размером битумной пленки. К таким добавкам можно отнести «Виатоп», «Эковату» и др.

Для упрочнения структуры бетона важно правильно подобрать размеры волокон и их прочность.

Для волокнистых композитов справедливо соотношение:

$$l_c/d_f \sim \sigma_f/\tau_m, \quad (7.1)$$

где l_c — критическая длина волокна, d_f — диаметр волокна, σ_f — напряжение в волокне, τ_m — некоторое эффективное напряжение в мат-

рице на границе включения, отражающие упругопластические свойства матрицы и отчасти прочность связи компонентов.

Максимальный эффект упрочнения будет наблюдаться, если волоконная система будет воспринимать максимальное напряжение.

Как видно из соотношения (7.1), величина напряжения в волокне будет тем больше, чем больше его длина, меньше диаметр и меньше напряжение в матрице. Применительно к асфальтобетону эффект волоконного упрочнения будет снижаться с уменьшением длины волокна, ростом его вязкости и понижением температуры.

Размеры волокон зависят от их вида и технологии получения.

Целлюлозные волокна имеют длину 0,9–1,1 мм. Диаметр 0,02–0,04 мм. Соотношение длина–диаметр — 22–55.

Минеральные волокна имеют длину 0,2–2 мм. Диаметр 0,003–0,005 мм. Соотношение длина–диаметр — 40–660.

Наибольшую длину имеют синтетические волокна (1,5–40мм).

Как видно из приведенных данных, ожидать эффекта упрочнения от целлюлозных волокон маловероятно (особенно при низких температурах). В этом плане предпочтение имеют минеральные волокна или смесь.

Битум является основным компонентом асфальтобетонных смесей, и его свойства во многом определяют надежность и долговечность дорожных покрытий. В РБ в основном применяют окисленные битумы Новополоцкого и Мозырского НПЗ из западносибирских нефтей. Подобные битумы недостаточно устойчивы к старению и обладают недостаточной адгезией.

В мировой практике альтернативой окисленным битумам служат битумы, получаемые из венесуэльских нефтей, имеющих повышенное содержание высокоактивных смол. С целью выяснения возможностей применения подобных битумов в РБ нами были выполнены дополнительные исследования.

Результаты испытаний битумов представлены в таблицах 7.1, 7.2. Анализ полученных данных показывает:

1. Битумы концерна «Nynas» уступают новополоцким битумам по показателям температуры размягчения и температуры хрупкости и не соответствуют по данным показателям действующему в РБ стандарту (СТБ 1062–97);

2. Битумы концерна «Nynas» превосходят новополоцкие битумы по показателям устойчивости к старению и сцеплению с каменным материалом. Здесь, в свою очередь, уже новополоцкие битумы не соответствуют стандарту (показатель старения).

Таким образом, складывается противоречивая ситуация, когда в одном случае имеют лучшие показатели битумы Новополоцкого НПЗ, в другом — концерн «Nynas».

В связи с этим было решено произвести компаундирование окисленных новополоцких битумов и битумов концерна «Nynas».

В таблице 7.3 представлены данные оценки уровня надежности асфальтобетонов на различных видах битумов. Анализ показывает, что компаундированные битумы позволяют получить асфальтобетоны в достаточной степени долговечности.

Таким образом, для получения качественных битумов предлагается в битумы новополоцкого НПЗ вводить 30–50% битума концерна «Nynas» марки В 85.

Таблица 7.1

Результаты испытания битума шведского производства концерна «NYNAS» NAPHENICS с терминала дочерней фирмы завода-изготовителя эстонской фирмы «NYBIT» в г. Таллинне

Наименование показателей	Полученный результат			Норма по СТБ 1062–97 для марки	
	Марка В 120	Марка В 85	Марка В 55	Марка 90/130	Марка 60/90
1. Глубина проникания иглы 0,1 мм: при 25 °С при 0 °С	114	77	63	90–130	61–90
2. Температура размягчения по КиШ, °С	42	45	50	не ниже 43	не ниже 47
3. Растяжимость, см при 2 °С при 0 °С	>100 8,2	>100 3,7	95 3,3	не менее 65 4	не менее 55 3,5
4. Температура хрупкости, °С до прогрева после прогрева	-18 -17	-12 -12	-8 -8	не выше -17	не выше -15
5. Температура вспышки, °С	>250	>250	>250	>235	>240
6. Содержание парафина, %	0,9	1,0	1,1	<3	<3
7. Коэффициент сцепления битума с гранитным щебнем при 20 °С	1,0	1,0	0,9	не менее 0,7	не менее 0,7

Наименование показателей	Полученный результат			Норма по СТБ 1062-97 для марки	
	Марка В 120	Марка В 85	Марка В 55	Марка 90/130	Марка 60/90
8. Показатели физико-химических свойств после прогрева (+16 °С/300 мин)					
а) потеря в массе, %	0,1	0,17	0,11	0,5	0,5
б) изменение глубины проникания иглы при 2 °С, %	27	23	20	40	40
в) изменение температуры размягчения по кольцу и шару, °С	3,0	2,0	3,0	5	5
9. Содержание асфальтенов	18	19	21	19-21	19-21

Таблица 7.2

Результаты испытания битума Новополоцкого НПЗ

Наименование показателей	Полученный результат			Норма по СТБ 1062-97 для марки	
	БНД 90/130	БНД 60/90	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 60/90
1. Глубина проникания иглы 0,1 мм: при 25 °С при 0 °С	117	76	60	90-130	61-90
2. Температура размягчения по КиШ, °С	45	49	53	не ниже 43	не ниже 47
3. Растяжимость, см при 25 °С при 0 °С	100 6,7	86 6,0	67 5,5	не менее 65 4	не менее 55 3,5
4. Температура хрупкости, °С до прогрева после прогрева	-22 -18	-19 -17	-16 -13	не выше -17	не выше -15
5. Температура вспышки, °С	250	>250	>250	>235	>240
6. Содержание парафина, %	1,7	2,3	2,9	<3	<3
7. Коэффициент сцепления битума с гранитным щебнем при 20 °С	1,0	0,8	0,6	не менее 0,7	не менее 0,7

Наименование показателей	Полученный результат			Норма по СТБ 1062-97 для марки	
	БНД 90/130	БНД 60/90	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 60/90
8. Показатели физико-химических свойств после прогрева (+16 °С/300 мин)					
а) потеря в массе, %	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5
б) изменение глубины проникания иглы при 2 °С, %	41	35	30	40	40
в) изменение температуры размягчения по кольцу и шару, °С	6	6	5	5	5
9. Содержание асфальтенов	21	24	26	19-21	19-21

Таблица 7.3

Результаты сравнительных исследований битумов

Вид битума	Коэффициенты запаса из условия				Уровни надежности из условия				Общий уровень надежности
	Сдвигоустойчивости	Температурной трещиностойкости	Усталостной долговечности	Коррозионной стойкости	Сдвигоустойчивости	Температурной трещиностойкости	Усталостной долговечности	Коррозионной стойкости	
БНД 90/130	1,67	1,35	1,27	1,20	0,88	0,9	0,90	0,84	0,87
В 85 (шведский)	1,63	0,87	1,28	1,25	0,87	0,52	0,91	0,88	0,79
БНД 90/130 70% + В85 - 30%	2,47	1,40	1,57	1,36	0,98	0,94	0,97	0,93	0,95

ЛИТЕРАТУРА

1. *Веренько В. А.* Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства. — Мн.: Наука и техника, 1993. — 246 с.
3. *S. H. Carpenter and T. VanDam.* Mix Designs: Initial Mix Designs on Modified and Unmodified Asphalt Cements. Shell Development Company, Houston, Tex., June 1985.
4. *S. F. Brown and K. E. Cooper.* A Fundamental Study of the Stress-Strain Characteristics of a Bituminous Material. Proc., Association of Asphalt Paving Technologies, Vol.49,1980.
5. *J. H. Collins and W. J. Mikols.* Block Copolymer Modification of Asphalt for Surface Dressing Applications. Presented at 60th Meeting of the Association of Asphalt Pavement Technologists, Feb.1985.
6. *B. J. Dempsey, J. Ingersoll, T. C. Johnson, and M. Y. Shahin.* Asphalt Concrete for Cold Regions: A Comparative Study and Analysis of Mixtures Containing Soft and Hard Grades of Asphalt Cement. CRREL Report 80-5. U. S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N. H., Jan.1980.
7. *B. R. Rauhut, J. C. O'Quin, and W. R. Hudson.* Sensitivity Analysis of FHWA Structural Model VESYS II, Vol. 1: Preparatory and Related Studies. Report FHWA-RD-76-23. FHWA, U. S. Department of Transportation, March 1976.
8. *H. J. N. A. Bolk.* The Creep Test. SCW Record 5. Study Centre for Road Construction, Amhem. The Netherlands, 1981.
9. *G. W. Maupin.* Simple Procedure for Fatigue Characterization of Bituminous Concrete. Report FHWA-RD-76-102. FHWA, U. S. Department of Transportation, June 1976.
10. *R. P. Lottman.* NCHRP Report 192: Predicting Moisture-Induced Damage to Asphalt Concrete. TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1978.
11. *Грудников И. Б., Фрязинов В. В.* Нефтепереработка и нефтехимия, 1971. — № 8. — С.8-9.
12. *Радовский Б. С.* Вероятностно-геометрический подход к структуре и оценке физико-механических свойств материалов дорожной конструкции. В сб. «Актуальные вопросы механики дорожных одежд». — М., 1992. — С. 4-36.
13. *Vonk W., Valkering C.* Extension of the service temperature range of road binders with SBS thermoplastic elastomers, Proceedings of the 1996 ARRB ROADS 96 conference, Christchurch, September 1996.

14. *Липатов С.* Физико-химические основы наполнения полимеров. — М.: Химия, 1990. — 260 с.
15. *Безрук В. М.* Дорожные одежды из укрепленных грунтов. — М.: Высшая школа, 1969. — 330 с.
16. *Цветков В. С.* Исследование свойств цементогрунтов и разработка способов повышения их морозостойкости в конструкциях дорожных одежд: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.14 / Московск. автом. дорож. ин-т. — М., 1989. — 21 с.
17. *Плотникова И. А.* Особенности формирования слоев из плотных минеральных смесей, обработанных эмульсиями // Исследование битумных эмульсий для строительства автомобильных дорог / Труды СоюздорНИИ. — Вып. 40. — 1970. — С. 48–56.
18. *Иерасулимская М. Ф.* Опыт применения битумных эмульсий для укрепления грунтов // Материалы к V Всесоюзному совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. — М.: Изд. МГУ, 1968. — С. 421–424.
19. Пат. 2606801 Франция, МКИ⁴(end)E01C 23/00, 19/10. Procédé pour régénérer a froid les couches supérieures des chaussées et lients pour la mise en oeuvre de a procédé / René Chambord, Jacgus Gaultier, Chaignon Francois: Colas — № 880520; Заявлено 18.11.86; Опубл. 20.05.88, Бюл. № 81 // Изобретения за рубежом. — 1989. — Вып. 81. — № 1. — С. 22.
20. Hydraulisch verfestigte Tragschichten unter ver wendung von pech haltigen straben auf bruch / Helge Feil, Kraus Graf // Strabe Autobahn. — 1995. — № 6. — s. 344–346.
21. *Карамышева В. Н.* Строительство слоев дорожных покрытий из влажных органоминеральных смесей: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.14 / Московск. авт.-дор. ин-т. — М., 1989. — 18 с.
22. *Иванов А. Ф.* Технология, структурообразование и свойства асфальтобетона с дисперсным битумом: Дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / Саратовский политех. ин-т. — Саратов, 1986. — 175 с.
23. Stabicol: un materiau composite pour les routes de demain / Godard Erir // Rev. gen. routes et aerodz. — 1991. № 691. — s. 6–63.
24. Ze liant stabicol en Fure-et-Loir / Penna Sylvain, Morlof Yves // R.w. gen routes et aerodr. — 1991. № 689. — s. 79–80.
25. *Веренько В. А., Концевой В. А.* Устройство слоев из дегте-золоминеральных смесей // Автомобильные дороги. — 1988. — № 1. — С. 5–6.
26. *Бачурин А. Н.* Влажные дегтешлаковые смеси, активированные щелочами для дорожного строительства: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / Харьков. автом.-дор. ин-т. — Харьков, 1989. — 25 с.

27. Самодуров С. И. Дорожный шлаковый асфальтовый бетон: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Всес. заочн. инж.-стр. ин-т. — Воронеж, 1982. — 386 с.
28. Innovations francaises en mati?re d'emulsions de bitume // Rev. gen. routes et aerodr. — 1989. — 63, № 644. — P. 25–32.
29. Betons compactes graves hydrauliques nautes performances / Bense Piezze, Colombier Georges, Conan Joel, Morlaf Yves, Renie Emmanuel // Rev. gen. routes et aerodz. — 1988. — № 654. — s. 1–12.
30. Гоглидзе В. М. Полужесткие композиционные дорожные покрытия. — Тбилиси: Мецнеереба, 1988. — 63 с.
31. Горельшев Н. В., Медведев Н. В. Основание дорожных одежд из гранулированных укрепленных грунтов // Пути совершенствования технологии производства и повышение качества дорожно-строительных материалов. — М.: МАДИ, 1987. — С. 4–9.
32. Cauwelauert F. V., Petit V. Powrgnoi des Structures routiers semi-rigi-des a fordabion en beton maigre // Техн. rout. — 1990. Vol. 25. — № 1. — P. 1–20.
33. Веренько В. А. Чичко А. Н. Принципы структурообразования бетонов на органно-минеральных вяжущих // Строительство и архитектура. — 1997. — № 1. — С. 36–40.
34. Лысихина А. И. Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей. — М.: Автотрансиздат, 1962. — 360 с.
35. Веренько В. А. Рекомендации по применению органно-минеральных смесей на наполнителях гидравлического действия. — Минск, 1991. — 14 с. — (Препринт / трест Облдорстрой).
36. Кучма М. И. Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве. — М.: Транспорт, 1980. — 181 с.
37. Lombardi B. Un procede revolutionnaire pour des emulsions de nouvelle generation, Revue Generale des routes et aerodromes, № 720, pp. 50–51, 1994.
38. Дорожные эмульсии. Энциклопедия в III томах. Сб. статей, под ред. И. П. Петухова. ЕАРЕ, Минск.
39. ТУ РБ 14559998.124–97. Эмульсия битумная катионная (опытная партия);
40. РД 0219.1.09–99. Дорожные технологии на основе катионных битумных эмульсий.
41. Мелик-Багдасаров М. С. и др. Устройство асфальтобетонных покрытий методом вибролитья. Наука и техника в дорожной отрасли. — 1977. — № 3. — С. 9–11.

42. Emploi des liants bitumineux modifies, des bitumes speciaux et des bitumes avec additifs en techniques routieres. Seminare international, Rome, 17/19 Juin, 1988.

43. *Ставицкий В. Д.* Дорожные термопластичные бетоны. — Мн.: Полымя, 1971. — 142 с.

44. *Безродный В. А., Золотарев В. А., Веренько В. А.* Способ приготовления асфальтобетонной смеси. Ав. св. СССР, № 1127899, С 08 95/00.

45. *Виноградов А. П.* и др. Продление эксплуатационного ресурса покрытий автомобильных дорог и аэродромов. — М.: «Ирмат-Холдинг», 2001. — 170 с.

46. *Яромко В. Н.* Новая технология ремонта цементобетонных покрытий. — Мн.: НПО «Белавтодорпрогресс», 1999. — 76 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕХНИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	5
2. МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОЖНЫЕ БИТУМЫ И АСФАЛЬТОБЕТОН НА ИХ ОСНОВЕ	13
2.1. Основные положения модификации дорожных битумов	13
2.2. Техническая эффективность применения модифицированных битумов для улучшения качества асфальтобетона	24
2.3. Мероприятия по снижению расхода сополимеров в битуме .	30
2.4. Стандарты и нормативные документы	34
3. ДОРОЖНЫЕ БЕТОНЫ НА ОРГАНО-ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ	37
3.1. Виды и классификация бетонов на органо-гидравлических вяжущих	37
3.2. Современные представления о структуре бетонов на ОГВ . .	43
3.3. Применение бетонов на ОГВ в Республике Беларусь	45
3.4. Стандарты и нормативные документы	56
4. БИТУМНЫЕ ЭМУЛЬСИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ	59
4.1. Общие понятия об эмульсиях	59
4.2. Технология получения и свойства эмульсий	62
4.3. Применение битумных эмульсий в дорожном строительстве	67
4.3.1. Применение битумных эмульсий для подгрунтовки и устройства поверхностных обработок	67
4.3.2. Устройство тонкослойных покрытий из литых холодных смесей (метод Слари-Сил)	70
4.3.3. Холодные органно-минеральные смеси и асфальтобетоны	73

4.3.4. Получение бетонов на органо-гидравлических вяжущих	77
4.4. Стандарты и нормативные документы	82
5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ.	86
5.1. Литые асфальтобетонные смеси и асфальтобетон	86
5.2. Асфальтобетоны для устройства тонкослойных покрытий	90
5.3. Асфальтобетоны с противогололедным эффектом	98
5.4. Асфальтобетоны на твердых и многослойных битумах. Щебнемастичные асфальтобетоны	100
5.5. Дренирующий асфальтобетон	109
5.6. Цветной асфальтобетон	110
5.7. Асфальтобетоны дискретной структуры	111
5.8. Высокопрочные асфальтобетоны с защитным слоем (НАС).	114
5.9. Холодные асфальтобетоны для ямочного ремонта в зимний период	121
6. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕМОНТА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.	127
6.1. Битумо-полимерные (эластомерные) герметики и материалы на их основе	127
6.2. Материалы для ремонта цемента- и железобетона	137
6.3. Материалы для устройства трещинопрерывающих прослоек	147
7. АСФАЛЬТОБЕТОНЫ С АДГЕЗИОННЫМИ И СТРУКТУРИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ	154
ЛИТЕРАТУРА	164

Учебное издание

ВЕРЕНЬКО Владимир Адольфович

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ
В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *А.П. Аношко*

Корректор *Т.И. Луневич*

Технический редактор *А.Н. Нефедов*

Сдано в набор 12.03.04. Подписано в печать 24.07.04.

Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,8. Уч.-изд. л. 9,1.

Тираж 500 экз. Заказ 107.

Издательство УП «Технопринт», лицензия № 02330/0056932 от 30.04.04.

Отпечатано на УП «Технопринт», лицензия № 02330/0133109 от 30.04.04.

220027, Минск, пр-т Ф. Скорины, 65, корп. 14, оф. 205.

Тел / факс 231-86-93