

УДК 665.77

Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
И. С. ЛОХМАНКОВ, инженер, ГП «БЕЛГИПРОДОР», филиал Гомельский дорожный отдел

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО КАПСУЛИРОВАННОГО АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Рассматриваются теоретические основы технологического процесса приготовления и капсулирования комплексного асфальтовяжущего для производства горячих асфальтобетонных смесей непосредственно вблизи участка строительства, ремонта или реконструкции автомобильной дороги. Определены климатические и технологические факторы, влияющие на интенсивность процесса старения органического вяжущего в покрытии. Приведены рекомендации по интенсификации процесса перемешивания компонентов асфальтовяжущего с целью предотвращения образования микрокластеров. В двух вариантах представлена технологическая последовательность процесса капсулирования комплексного асфальтовяжущего. Отмечены потенциальные преимущества и недостатки технологии, выявлены сдерживающие факторы.

Введение. Теоретический срок службы цементобетонных покрытий составляет около 50 лет (до первого капитального ремонта), реальный 20–25 лет, асфальтобетонных – около 15 лет, реальный – 8–11 лет. Увеличение доли дорог с цементобетонным покрытием, наметившееся в 2014–2015 годах (в связи с модернизацией цементных заводов в 2008–2013 годах и насыщением внутреннего рынка отечественным цементом), идет достаточно медленными темпами, так как требует приобретения дорожно-строительными организациями не только бетоноукладочных комплектов, но еще и смесительных установок, а также вызывает необходимость переподготовки и повышения квалификации сотрудников. Соотношение между различными видами покрытий на республиканских и местных автомобильных дорогах согласно статистической информации, изложенной в проекте государственной программы «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы, представлено на рисунке 1.

а)



б)



Рисунок 1 – Соотношение между различными видами покрытий на республиканских (а) и местных (б) дорогах

Доля автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием имеет наибольший вес как на республиканских, так и на местных дорогах. Поэтому проблемы увеличения сроков службы асфальтобетонных покрытий являются актуальными и подлежат исследованию. Повышение межремонтных сроков дорожных покрытий в Республике Беларусь носит комплексный характер, так как на продолжительность эксплуатации влияют: природа исходных компонентов дорожного композита (характеризует способность компонентов образовывать прочные связи), погоднo-климатические факторы (определяют не зависящие от человека условия работы материала в покрытии), параметры технологических процессов (влияют на степень реализации потенциальных возможностей материала), характеристики транспортного потока и пр.

Постановка задачи. Основным компонентом асфальтобетона, характер работы которого определяет эксплуатационные свойства покрытия, является битум. Увеличение сроков службы асфальтобетонных покрытий возможно за счет обеспечения таких условий жизненного цикла дорожного покрытия (начиная от подбора материалов композита, далее на этапах приготовления смеси, её транспортировки, укладки, уплотнения и последующей эксплуатации готового покрытия), при которых воздействие внешних факторов не приведет к появлению напряжений в теле покрытия, превышающих прочность внутренних связей с учетом изменений, происходящих в структуре самого материала.

Факторы, влияющие на срок службы дорожного покрытия. Автомобильные дороги Беларуси, средней полосы Российской Федерации и северной части Украины подвержены более интенсивному разрушению под действием погоднo-климатических факторов по сравнению с дорогами равнинной части Западной Европы. В большей степени отличия обусловлены максимальной и минимальной температурами воздуха, числом переходов температуры воздуха через 0 °С, интенсивностью солнечного излучения, видом и интенсивностью осадков. Максимальные летние температуры воздуха в южных районах Республики Беларусь в последние годы стабильно приближаются к 40 °С, зимние могут опускаться ниже –20 °С. Асфальтобетонное покрытие в зависимости от показателя альбедо и интенсивности солнечного облучения летом может нагреваться до 60–70 °С. Таким образом, температурный интервал работы асфальтобетонного покрытия может превышать 80 °С.

Нормативным документом [1] для битумов марки БД 90/130, рекомендуемых к использованию в качестве вяжущего при приготовлении асфальтобетонов для верхних слоев покрытий, установлены следующие пороговые значения: температура размягчения по методу «кольцо и шар» – 43 °С, температура хрупкости – не выше –17 °С. На сегодня наиболее распространенным битумом для асфальтобетонных смесей, укладываемых в верхние слои покрытий, является битум марки 70/100, к которому предъявляются аналогичные требования. Однако в течение года температура окружающего воздуха и температура покрытия могут превышать предельные значения рабочего температурного интервала асфальтобетона. Летом это приводит к появлению пластических деформаций (колея, сдвиги, наплывы), зимой – хрупких (температурные трещины).

Температурный интервал работы асфальтобетонного покрытия с течением времени неизбежно уменьшается вследствие старения битума. Большинство исследователей сходятся во мнении, что, несмотря на чрезвычайно сложный, недостаточно однородный состав битумов, процессы последовательных превращений одних компонентов в другие являются относительно общими. Механизм этих явлений можно изобразить следующей схемой:

Углеводороды (минеральные масла) → Масла →
→ Смолы → Асфальтены → Карбоиды → Карбены

Со временем частота появления температурных трещин увеличивается, расстояние между ним уменьшается, что приводит к образованию сетки трещин.

В весенне-осенний период интенсивная транспортная нагрузка вызывает усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий, которое развивается по двум схемам: восходящее трещинообразование и нисходящее трещинообразование. Наименее изученным является второй тип усталостных разрушений. При частотах нагружения асфальтобетонных покрытий порядка 50–100 Гц (такие частоты характерны для верхних слоев покрытий на дорогах с высокой интенсивностью движения) в верхних слоях покрытий не развиваются изгибающие деформации, так как время нагружения меньше времени релаксации асфальтобетона [2]. Компоненты асфальтобетона в таком случае совершают высокочастотные колебания, отличные друг от друга по фазе и амплитуде, что приводит к выкрашиванию компонентов с образованием трещин в местах появившихся пустот. Такой тип разрушения выводит на первый план не эластичные свойства битума, а в большей степени роль адгезии вяжущего к минеральному заполнителю.

Обеспечение высокой адгезии вяжущего к каменному заполнителю зависит от природы материалов фазы и среды. В Беларуси добывается щебень гранитный (относится к кислым породам) и базальтовый (относится к основным породам). Кислые породы имеют низкую адгезию к нефтяному битуму ввиду присутствия в составе более 60–70 % диоксида кремния (SiO_2). Базальт содержит 40–53 % SiO_2 . Это означает, что на поверхности зерен щебня отмечается слабый отрицательный заряд. Основные парамагнитные центры битума, имеющие положительный заряд, закрыты оболочкой из отрицательно заряженных элементов группового состава (смол) и по этой причине практически не взаимодействуют с отрицательно заряженными центрами поверх-

ности частиц минерального материала [3]. Для повышения адгезии сегодня чаще всего используют различные ПАВ. Это приводит к увеличению отпускной цены 1 т асфальтобетонной смеси.

Как уже было отмечено выше, в процессе эксплуатации битум стареет, однако на интенсивность этого процесса влияют не только погодные-климатические факторы. Нефтяной битум чувствителен к воздействию высоких технологических температур [4]. Процессы старения окисленного битума начинаются уже на стадии его приготовления и по мере увеличения количества этапов его обработки (транспортировка железнодорожным и (или) автодорожным транспортом, хранение с подогревом на асфальтобетонном заводе, подогрев для подачи в смеситель и пр.) сокращается срок эксплуатации асфальтобетонного покрытия. Лучшие показатели термоустойчивости наблюдаются у неокисленных (остаточных) битумов.

Увеличение продолжительности эксплуатации асфальтобетонных покрытий заключается в замедлении старения органического вяжущего на этапах приготовления и укладки асфальтобетонной смеси, период эксплуатации покрытия, а также в повышении адгезии органического вяжущего к щебню и песку.

Основы технологии капсулирования органического вяжущего. Возможность увеличения ресурса асфальтобетона при значительном сокращении затрат на его производство кроется в коренном преобразовании линии подготовки и подачи битума [5]. Суть идеи сводится к отказу от традиционного битумного хозяйства на асфальтобетонных заводах и приготовлению комплексного вяжущего (битум, минеральный порошок, добавки) централизованно – на крупных производственных предприятиях дорожной отрасли или нефтеперерабатывающих заводах. Появляется возможность модификации битума широким спектром различных добавок, снижаются риски технологического старения и энергозатраты асфальтобетонных заводов.

Технологию приготовления комплексного асфальтовяжущего можно разделить на 2 этапа: приготовление смеси и капсулирование. Смешение битума и минерального порошка целесообразно производить в смесителях при непосредственном вибрационном воздействии. Вибрация разрушает микрокластеры, которые образуются за счет сил агрегирования мельчайших частиц минерального порошка. На практике использование подобной технологии позволило снизить потребность в битуме на 10 % и увеличить основные показатели физико-механических свойств. Совместное применение при приготовлении асфальтобетонных смесей ПАВ и вибрации уменьшает потребность в битуме до 35 % [6]. Однако основная задача вибрационного воздействия заключается в снижении вязкости вяжущего без изменения его химического состава. Адгезия битума к минеральному порошку из доломитовых пород при сохранении его в герметичных емкостях достаточна и чаще всего не требуется каких-либо кардинальных мер для ее повышения.

Технологический процесс капсулирования представляет собой последовательность операций по формированию оболочки (капсулы) вокруг элементарного объема вяжущего (рисунок 2). Возможны варианты капсулирования вязкого комплексного вяжущего и твердого измельченного вяжущего.

Вариант № 1
Технологическая последовательность
капсулирования вязкого комплексного
вяжущего



Вариант № 2
Технологическая последовательность
капсулирования твердого вяжущего



Рисунок 2 – Варианты технологии капсулирования органического вяжущего

Экструзия вязкого вяжущего представляет собой продавливание незначительно охлажденной массы через формовочное отверстие экструдера с одновременным нанесением оболочки. Охлаждение массы необходимо для повышения ее вязкости и придания устойчивой формы. На выходе из отверстия экструдера вяжущее заключаются в оболочку. Гранулы с оболочкой охлаждаются, подвергаются вибрационному воздействию для разделения слипшихся элементов и отправляются на хранение. Оболочка выполняет несколько функций: препятствует слипанию гранул вяжущего, содержит модификаторы вяжущего (эластомеры, термоэластопласты), или вещество, способствующее снижению вязкости битума (например, техническая сера) при последующем приготовлении асфальтобетонной смеси. В Республике Беларусь для модификации битумов используются каучуки синтетические бутадиен-метилстирольный СКМС 30 АРКМ-15 и бутадиен-стирольный СКС-30АРКМ-15, а также бутадиен-стирольный СКС-30АРКППН и бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРКППН [7]. В качестве термоэластопластов целесообразно использование тер-

моэластопластов бутадиен-стирольных ДСТ-30, ДСТ-30Р и ДСТ-РМ.

Капсулирование твердого вяжущего осуществляется при его измельчении. Порошок из асфальтовяжущего получается при механическом дроблении сильно охлажденной смеси. Непосредственное сообщение механической энергии объему вяжущего вызовет его нагрев и последующее прилипание к стенкам дробильного устройства. Причем крупность помола влияет на скорость перехода из твердого состояния в жидкое при контакте с горячим каменным заполнителем в камере смешения. Состав оболочки капсулы выполняет функции, аналогичные функциям оболочки гранул. Заполнение капсулы порошком осуществляется в следующем порядке: ориентация капсулы, раскрытие, выявление бракованных капсул, наполнение порошком, сушка и запайка капсулы, отбраковка незаполненных или незакрытых капсул. Преимуществом такого способа является возможность наполнения капсулы иными порошкообразными материалами, которые могут повышать качество асфальтобетонных смесей или позволят решить

технологические задачи снижения вязкости и повышения адгезии.

Полученные капсулы подлежат хранению на закрытых складах с целью недопущения их контакта с неблагоприятными погодными факторами (осадки). Технология приготовления горячей асфальтобетонной смеси на капсулированном вяжущем имеет следующий порядок: нагрев минеральных материалов до температур 200–220 °С, подача в камеру смесителя нагретых песка и щебня и капсул вяжущего. Контакт с горячей поверхностью вызывает разрушение (расплавление) капсулы и запускает процесс перехода битума из твердого состояния в жидкое с одновременной реакцией с модификаторами.

Заключение. Описанный выше технологический процесс имеет свои достоинства и недостатки. Технология централизованного приготовления комплексного капсулированного асфальтовяжущего позволяет:

1) отказаться от использования битумного хозяйства на асфальтобетонных заводах и уменьшить затраты на производство асфальтобетонных смесей. Смешение комплексного вяжущего с горячим наполнителем будет происходить прямо в камере смесительной установки за счет контакта капсул вяжущего с горячей поверхностью наполнителя;

2) уменьшить число операций с битумом (сопряженных с нагревом) в период от его производства на нефтеперерабатывающих заводах до непосредственного приготовления асфальтобетонных смесей. Это приведет к минимизации рисков температурной деструкции и позволит замедлить старение;

3) сократить затраты на транспортировку асфальтобетонной смеси за счет её приготовления на упрощенных смесительных установках, расположенных непосредственно у объекта строительства или ремонта. Побочным положительным эффектом от расположения смесительных установок в непосредственной близости от строящегося участка дороги является возможность быстрой оптимизации процесса доставки смеси в зависимости от складывающихся условий производства работ (поломки дорожно-строительных машин, погодные условия), которая сегодня затруднительна при протяженном фронте работ и отдаленном расположении асфальтобетонных заводов.

К недостаткам технологии следует отнести необходимость увеличения температуры нагрева каменных материалов и поиск оптимального температурного интервала, нижняя граница которого позволяет быстро переводить битум из твердого состояния в жидкое, а верхняя граница не приводит к термическому разрушению битума и модификаторов.

Практическая реализация технологии комплексного капсулированного асфальтовяжущего сдерживается по следующим причинам.

Получено 16.02.2021

D. Yu. Aleksandrov, I. S. Lohmankov. Fundamentals of the technology of complex encapsulated asphalt binder in the production of asphalt concrete mixtures.

The theoretical foundations of the technological process of preparation and encapsulation of a complex asphalt-binder for the preparation of hot asphalt-concrete mixtures directly near the site of construction, repair or reconstruction of the highway are considered. The climatic and technological factors influencing the intensity of the aging process of the organic binder in the coating are determined. Recommendations are given for the intensification of the mixing process of asphalt binder components in order to prevent the formation of micro-clusters. The technological sequence of the encapsulation process of a complex asphalt binder is presented in two variants. The potential advantages of the technology are noted and the constraints are identified.

1 Отсутствие организованного, интенсивного и целенаправленного процесса научной деятельности в отрасли, включающей совместную работу над решением дорожных проблем не только ученых-дорожников, но и специалистов в области физики, химии, математики, машиностроения и т. д. Именно усиление межфазного взаимодействия вяжущего и минерального материала при меньших технологических температурах является ключом к раскрытию потенциальных возможностей технологии.

2 Необходимость разработки сложной установки для приготовления комплексного вяжущего с использованием вибрации и последующего капсулирования полученного материала, а также изменения технологических процессов на асфальтобетонных заводах, так как экономическая эффективность технологии комплексного капсулированного асфальтовяжущего зависит от степени охвата производителей асфальтобетонных смесей.

3 Необходимость переработки и увязки многочисленных технических нормативно-правовых актов, регламентирующих приготовление асфальтобетонных смесей и технологию их укладки. Большое количество обязательных к исполнению и связанных между собой требований нормативных документов не может быть изменено без участия основных проектных и научных институтов дорожной отрасли.

Список литературы

1 СТБ 1062–97 Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия. Технические условия = Бітумы нафтавыя для верхняга слоя дарожнага пакрыцця. Тэхнічныя ўмовы. – Введ. 01.07.97. – Минск : Минстройархитектуры, 1997. – 14 с.

2 **Илюполов, С. К.** Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств / С. К. Илюполов, Е. В. Углова. – М. : Инфотрансдор, 2007. – 84 с.

3 **Ковалев, Я. Н.** Межфазные контакты в битумо-минеральных системах и их усиление / Я. Н. Ковалев // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 3–9.

4 Устойчивость модифицированных вяжущих на основе окисленных и остаточных битумов к термодеструкции / М. А. Высоцкая [и др.] // Вестник СибАДИ. – 2017. – № 6 (58). – С. 140–147.

5 **Ковалев, Я. Н.** Активационные технологии дорожных композиционных материалов: Научно-практические основы : [монография] / Я. Н. Ковалев. – Минск : Белорусская Энциклопедия, 2002. – 334 с.

6 **Ларина, Т. А.** Двухступенчатая технология песчаного асфальтобетона / Т. А. Ларина. – М., 1989. – 21 с.

7 СТБ 1220–2020 Битумы модифицированные дорожные. Технические условия = Бітумы мадыфікаваныя дарожныя. Тэхнічныя ўмовы. – Взамен СТБ 1220–2009; введ. 01.04.21. – Минск : Госстандарт, 2020. – 15 с.