

- растение легко и быстро адаптируется в водоёме, не требуя сложных специальных установок;
- прибрежная и водная растительность благоприятно реагирует на внедрение водного гиацинта, также как и гиацинт на нее, что доказывает возможность применения камыша и эйхорнии совместно на станции очистки стоков;
- показатели качественного состава сточных вод соответствуют требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 «2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод»¹.

Список литературы

1. Моисеенко, Т. И. Воздействие токсичного загрязнения на популяции рыб и механизмы поддержания численности [Текст] / Т. И. Моисеенко // Экология. - 2010. - N 3. - С. 199-206. - Библиогр.: С. 205-206. - ISSN 0367-0597.
2. Титова В.И., Дабахова Е.В. Охрана окружающей среды: Учебное пособие / Нижегородская гос. сельскохозяйств. академия – Н. Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии гос. службы, 2003. – 213 с.
3. Использование свежей воды по Российской Федерации [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ke4ytTWT/oxr_vod1.xls.
4. Официальные статистические показатели [Электронный ресурс] / ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/>.
5. Цингер А.В. Занимательная ботаника. -М.:Советская наука, 1954.-С.12-13.
6. Одум Ю. Основы экологии.- М.:Мир, 1975.-С.97-98.
7. Свириденко Б.Ф. Флора и растительность водоемов Северного Казахстана.- Омск, 2000.- 205с.
8. Быков Б.А. Геоботаника.- Алма-Ата:Наука, 1978.- 352с.
9. Доброхотова К.В., Ролдугин И.И., Доброхотова О.В. Водные растения.- Алма-Ата:Кайнар, 1982.-192с.
10. Воронихин Н.Н. Растительный мир континентальных водоемов.-М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960.-С.220-221
11. Пономарев В.Г., Иоакимис Э.Г., Монгайт И.Л. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. -М.: Химия, 1985.- 256с.
12. А.С. 918277. СССР. Способ очистки сточных вод в биологических прудах. / Н.В. Морозов, В.Н. Николаев, Р.П. Петрова, Г.М. Ахмадиев; опубл. 12.11. 1982, Бюл. №13.-2:сил.
13. А.С. 13449588. СССР. Устройство для биологической очистки воды водоемов и водотоков./ А.В. Ильевский, В.Н. Сотников, А.Н. Фалалеева; опубл. 15.10.1987, Бюл. № 39.-2:сил.
14. Информационный обзор способа очистки (доочистки) вод с применением эйхорнии (водного гиацинта) [Электронный ресурс] / КФХ «Ессентуки». URL: <http://essentuki.com/index.html>

© Г. Б. Абуова, А. Э. Харламова, А. С. Сардина

Ссылка для цитирования:

Абуова Г. Б., Харламова А. Э., Сардина А. С. Эффективность применения водного гиацинта (*eichornia crassipes*) при доочистке сточных вод // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 1 (39). С. 33–37.

УДК 625.85.06
DOI 10.52684/2312-3702-2022-39-1-37-41

ABCD – МЕТОД ОЦЕНКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОВЕДЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ВЯЖУЩИХ

Д. Ю. Небратенко

Небратенко Дмитрий Юрьевич, кандидат химических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация, e-mail: nebratenko@mail.ru

В статье изложены результаты применения нового метода определения температуры растрескивания битумных вяжущих (ABCD), позволяющего в экспериментах, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации, оценивать влияние природно-климатических показателей на комплекс низкотемпературных свойств вяжущих и покрытий на их основе. Метод ABCD принят в качестве национального стандартного метода испытаний низкотемпературных свойств битумных, прежде всего полимерно-битумных вяжущих в Европе, Северной Америке и России. Отражены результаты количественного определения прямым методом эксплуатационных показателей (температуры растрескивания) битумных, вяжущих различного состава при пониженных температурах. Полученные данные показали существенную взаимосвязь низкотемпературных показателей вяжущих со строением и структурой использованных линейных и радиальных бутадиен-стирольных термоэластопластов.

Ключевые слова: метод определения температуры растрескивания битумных вяжущих (ABCD), полимерно-битумные вяжущие (ПБВ), бутадиен-стирольные термоэластопласты (SBS-полимеры).

ABCD – A METHOD FOR EVALUATING THE LOW-TEMPERATURE BEHAVIOR OF ROAD BINDERS

D. Yu. Nebratenko

Nebratenko Dmitriy Yuryevich, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department "Automobile roads, airfields, bases and foundations", Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation, e-mail: nebratenko@mail.ru

The paper presents the results of a new method for determining the cracking temperature of bituminous binders (ABCD), which allows in experiments, as close as possible to real operating conditions, to assess the influence of natural and climatic parameters on the complex

¹СанПиН 2.1.5.980-00. «2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод». – Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22 июня 2000 г.

of low-temperature properties of binders and coatings based on them. The ABCD method is adopted as a national standard method for testing low-temperature properties of bituminous and, first of all, polymer-bitumen binders in Europe, Northern America and in Russia. The results of quantitative determination of performance indicators (cracking temperature) of bituminous binders of different compositions at low temperatures by the direct method have been presented. The obtained data have shown a significant interrelation of low-temperature indexes of binders with the structure and the structure of linear and radial butadiene styrene thermoplastic elastomers used.

Keywords: method for determining the cracking temperature of bituminous binders, polymer-bitumen road binders (PmB), styrene-butadiene thermoplastic elastomers (SBS-polymers).

Введение

Для дорожных вяжущих на протяжении долгого времени основным критерием являлся условный показатель – температура хрупкости по Фраасу. Метод отличался достаточной простотой и изначально использовался в механическом исполнении. Это позволяло широко применять его в полевых условиях даже при отсутствии должного энергетического обеспечения лабораторного поста. Однако данный метод, как и практически все методы прошлого века, является условным. Он не воспроизводит реальные условия физико-механических воздействий, оказываемых на тонкую пленку вяжущего, облегающую и повторяющую все контуры щебенистых материалов. Актуальность нового метода оценки растрескивания ABCD состоит в воспроизведении условий нагружения и получении достоверных данных о низкотемпературных свойствах вяжущих, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации дорожных покрытий.

Растрескивание асфальтобетонов при низких температурах является одним из основных дефектов дорожных покрытий при экстремальных условиях эксплуатации. Снижение температуры может вызвать самопроизвольное растрескивание асфальтобетонного покрытия, что приведет к перебоям в движении автотранспорта и необходимости дорогостоящего ремонта. В таких природно-климатических условиях находится более 90 % территории России [1].

Низкотемпературное растрескивание асфальтобетонного покрытия, вызванное термоусадкой при охлаждении массива вяжущего до предельных температур, соответствующих природно-климатическим условиям эксплуатации дорог в разных регионах нашей страны, происходит тогда, когда тепловое растягивающее напряжение, возникающее в результате перепада температур внутри асфальтового покрытия (битумного вяжущего), превышает прочность многокомпонентного материала при этой температуре.

Трещины на покрытии обычно проявляются в виде поперечных разломов, возникающих под прямым углом к направлению движения [2]. Термическое растрескивание традиционно регулировалось путем ограничения жесткости асфальтового вяжущего в предположении, что вяжущие с большей жесткостью будут растрескиваться при более высокой температуре, чем более мягкие вяжущие. Выбор состава асфальтовяжущих уже давно основан на положениях указанной теории [1].

До настоящего времени не существует прямого метода, обоснованно подтверждающего предположение о том, что низкотемпературные свойства могут быть экстраполированы из данных испытаний, проведенных при более высоких температурах.

Для прямой оценки низкотемпературных свойств битумных вяжущих профессором кафедры гражданского строительства Университета Огайо доктором Сан-Су Кимом (EZ Asphalt Technology LLC) было разработано устройство для растрескивания битумного вяжущего ABCD (Asphalt Binder Cracking Device) [3]. Это принципиально новый для дорожной отрасли метод испытаний, определяющий потенциал низкотемпературного растрескивания битумного вяжущего без предварительных знаний о его реологических свойствах, прочности на разрыв, коэффициенте теплового расширения и сжатия и т. п. [4].

Указанный прибор впервые осуществляет оценку свойств прямым методом путем низкотемпературной усадки вяжущего вокруг абсолютно несжимаемого сердечника из специального сплава металлов, моделирующего природные и искусственные каменные материалы.

В условиях реальной эксплуатации автомобильных дорог и понижения температуры асфальтобетонное покрытие, прежде всего битумное вяжущее, сжимается. При определенных условиях в составе дорожного полотна наступает нарушение монолитности прослойки вяжущего между каменными агрегатами. В ходе испытания ABCD образец битумного вяжущего выдерживают при постепенном понижении температуры, вызывая аналогичное тепловое сжатие до момента нарушения его монолитности [5].

На примере использования SBS-полимеров различной молекулярной структуры рассмотрено влияние на низкотемпературные свойства их смесей на основе окисленных нефтяных дорожных битумов, а также возможность количественной оценки низкотемпературных свойств методом ABCD.

Материалы и методы исследования

В качестве битумного вяжущего в ходе исследования использовались промышленно выпускаемые нефтяные окисленные битумы, нефтяные дорожные вязкие БНД 60/90 (ГОСТ 22245-90) и БНД 70/100 (ГОСТ 33133-2014), произведенные на одном из НПЗ, расположенном в приволжском федеральном округе (табл. 1) [6].

Таблица 1

Физико-механические показатели битумов нефтяных дорожных вяжущих

Наименование показателя	БНД 60/90	БНД 70/100	Методы испытаний
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при температуре 25 °С	75	85	ГОСТ 11501 / ГОСТ 33136
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при температуре 0 °С	22	31	ГОСТ 11501 / ГОСТ 33136
Растяжимость, см, при температуре 25 °С,	70	85	ГОСТ 11505 / ГОСТ 33138
Растяжимость, см, при температуре 0 °С,	3,8	5,3	ГОСТ 11505 / ГОСТ 33138
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	51	49	ГОСТ 11506 / ГОСТ 33142
Температура хрупкости, °С	-16	-18	ГОСТ 11507 / ГОСТ 33143
Температура вспышки, °С	251	262	ГОСТ 4333 / ГОСТ 33141

При проведении исследования использовались две марки бутадиен-стирольных термоэластопластов, крупнотоннажно выпускаемые на АО «Воронежсинтезкаучук»: ДСТ Л 30-01 – линейной и ДСТ Р 30-01 – радиальной (разветвленной) структуры [7].

Методология получения полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) для проведения исследований состояла в равномерном введении 3,2 % SBS-полимеров в битум при температуре 170±5 °С в течение 15 минут и гомогенизации состава с помощью лабораторного диспергатора [8, 9]. В течение двух часов при 160 ± 5 °С и постоянном механическом перемешивании проводили процесс дозревания ПБВ. Свойства полученных композиций оценивались на соответствие требованиям существующего национального стандарта¹.

Учитывая новизну рассматриваемого в работе метода определения температуры растрескивания битумных вяжущих при помощи устройства ABCD, остановимся несколько подробнее на отдельных этапах проведения исследования² [5].

Измерительная часть устройства состоит из металлического кольца, снабженного датчиками температуры и деформации, которые помещаются в силиконовую форму. После того, как нагретое битумное вяжущее заливается вокруг кольца, устройство переносят в охлаждающую камеру (термокамеру, криокамеру) [10].

При понижении температуры битумное вяжущее сжимается сильнее, чем металлическое кольцо, изготовленное из инвара. Инвар – это специальный сплав, состоящий из никеля (Ni, 36 %) и железа (Fe, 64 %) и отличающийся уникально низ-

ким коэффициентом температурного расширения. Это позволяет изделиям из него сохранять свои геометрические размеры неизменными в широчайшем температурном диапазоне от -90 до +250 °С [11]. Коэффициент теплового расширения инвара приблизительно равен 1,2·10⁻⁶/°С. Кольцо из этого сплава должно иметь следующие размеры: внешний диаметр (50,80 ± 0,05) мм, высота (13,72 ± 0,05) мм, толщина (1,65 ± 0,05) мм³.

Тепловые деформации приводят к изменению жесткости, прочности и коэффициента теплового сжатия образца. В итоге указанное изменение температуры вызывает самопроизвольное разрушение вяжущего вследствие внутренних температурных напряжений внутри кольца битумного вяжущего, превышающих прочность данного типа вяжущего при низких температурах. Компьютерная программа автоматически фиксирует температуру и уровень напряжения, при котором происходит нарушение сплошности объема битумного или полимерно-битумного вяжущего. Эта информация помогает достоверно определить, подходит ли данный тип вяжущего для использования при создании дорожных покрытий, обеспечивая долговечность, необходимую для температурных условий последующей эксплуатации, предполагаемых в конкретном регионе Российской Федерации.

Результаты измерения исследуемых низкотемпературных параметров вяжущего, отражающие эксплуатационные свойства дорожных битумных вяжущих различных типов, в том числе содержащих SBS-полимеры, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Низкотемпературные показатели исследованных вяжущих

Марка вяжущего*	Температура растрескивания ABCD, °С	Температура хрупкости по Фраасу, °С	Скачок деформации, мс	Разрушающее напряжение, МПа
БНД 60/90	-34,31	-17	16,14	2,54
БНД 70/100	-36,41	-19	16,58	2,61
ПБВ 60Л	-45,3	-20	34,33	5,40
ПБВ 60Р	-42,93	-23	23,64	3,71

Примечание: * ПБВ 60Л и ПБВ 60Р – ПБВ на основе линейной и радиальной марок SBS-полимеров соответственно [12].

¹ ГОСТ Р 52056-2003 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия» М.: Стандартиформ. 2007. 8 с.

² ГОСТ Р 58400.11-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битум-ные. Метод определения температуры растрескивания при помощи устройства ABCD». М.: Стандартиформ. 2019. 15 с.

³ Там же.

Данные таблицы 1 подтверждают известный факт об образовании бутадиен-стирольными термоэластопластами эластичной пространственной полимерной сетки вследствие набухания блоков SBS-полимера в мальтеновой фазе битума [8]. Это способствует релаксации растягивающих температурных напряжений и приводит к снижению температуры растрескивания по методу ABCD и хрупкости по Фраасу, определяемой по ГОСТ 33143-2014.

Наличием эластомерной сетки ПБВ, способной к рассеиванию деформации, возникающей вследствие температурных напряжений в объеме вяжущего, объясняется снижение на 18–34 % температуры растрескивания по методу ABCD (ГОСТ Р 58400.11) для ПБВ в сравнении с данными для БНД.

Представить динамику изменения деформационных свойств полимерно-битумных вяжущих в ходе проведения низкотемпературных испытаний позволяет график температурной зависимости деформации, представленный на рисунке.

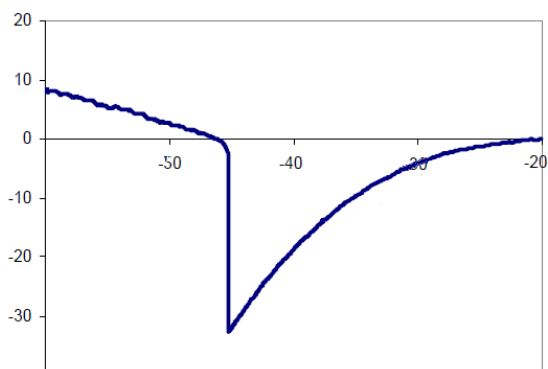


Рис. Температурная зависимость деформации для ПБВ 60 Л

На графике видно, что при понижении температуры ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в объеме полимерно-битумного вяжущего происходит лавинообразное накопление остаточных деформаций, рассеиванию которых в эластичных блоках бутадиен-стирольных термоэластопластов препятствует низкая скорость релаксационных процессов. Таким образом, конструкция прибора ABCD позволяет описывать кинетику изменения температуры пленки битумного вяжущего и функцию отклика прочностных свойств массива вяжущего, изменяющегося в ходе падения температуры внешней среды. При критической температуре для ПБВ Л она составила $-45,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, происходит резкий деформационный скачок. Он объясняется разрушением сплошности пленки вяжущего, напряжение которой составляет $5,40\text{ МПа}$. Поэтому последующее понижение температуры не оказывает существенного влияния на деформационные свойства разрушенного образца вяжущего.

Практический интерес представляла возможность оценить суммарную и пооперационную продолжительность процесса определения температуры растрескивания вяжущих по методу ABCD:

- время нагревания образцов вяжущих до текучего состояния зависит от состава и соотношения компонентов и при нормальных условиях (н.у.) составляет, как правило, порядка 50–60 мин;
- охлаждение силиконовых форм в сборе с сердечником, датчиками и залитым вяжущим до н.у. занимает не менее 30 мин;
- продолжительность охлаждения криокамеры после помещения в нее образцов от $20\text{ до }0\text{ }^{\circ}\text{C}$ со скоростью $40\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ составляет около 30 мин;
- от $0\text{ до }-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ охлаждение ведется со скоростью $20\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ и занимает порядка 180 мин;
- после растрескивания образца испытание продолжается еще не менее 20 мин для получения дополнительных данных, необходимых при расчете скачка деформации;
- образцы извлекаются при достижении температуры в камере выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, подъём температуры занимает примерно 30 мин.

Таким образом, суммарная продолжительность измерений образцов одной закладки составляет 6 ч. Следовательно, при проведении исследования целесообразно использовать не четыре, а восемь или двенадцать испытательных колец. Тогда с высокой степенью достоверности (четыре образца на каждый состав) в течение одной рабочей смены (8 ч) можно провести оценку эффективности трех составов полимерно-битумных вяжущих или модифицированных битумов.

Заключение

В результате анализа данных, полученных в рамках проведенных исследований, можно сделать вывод об эффективности применения устройства ABCD для оценки низкотемпературных характеристик битумных вяжущих различного состава.

Благодаря эластомерной сетке, образующейся с применением SBS-полимеров, полимерно-битумные композиции приобретают лучшие низкотемпературные свойства в сравнении с традиционными битумами.

ABCD – это достаточно простое в использовании устройство для определения общих возможностей низкотемпературного растрескивания вяжущего. Его можно использовать отдельно или в сочетании с другими методами испытаний для точной оценки свойств дорожных вяжущих при низких температурах.

Это будет способствовать нефтеперерабатывающей отрасли разрабатывать, а дорожной – применять наилучшие битумные вяжущие для региональных проектов, продлить срок службы дорожных покрытий, снизить потребность в ремонте и сэкономить денежные средства российских налогоплательщиков.

Список литературы

1. Гохман Л.М. Дорожный полимерасфальтобетон. – М.: Изд-во «Экон-Информ». 2017. 477 с.
2. Torskaya E.V., Stepanov F.I., Lushnikov N.A. Simulation of Pavement Deformation by a Moving Load Journal of Friction and Wear. 2021. V. 42 N 2: P. 96-100. DOI: 0.3103/s1068366621020112
3. Kim S.-S. «Development of an Asphalt Binder Cracking Device», Final Report for Highway IDEA Project 99. 2007, 40 p.
4. Устройство для определения температуры растрескивания битумных вяжущих ABCD. Руководство по эксплуатации СПб. 2021, 16 с.
5. Небратенко Д.Ю. Метод определения температуры растрескивания битумных вяжущих (ABCD). Методические рекомендации к проведению лабораторных работ / Д.Ю. Небратенко, Н.А. Лушников, В.Е. Николаевский, В.В. Савицкий // М.: РУТ (МИИТ). 2021. 24 с.
6. Паспорта товарные на битумы нефтяные дорожные вязкие. – URL: <http://sbitum.ru/products/> (дата обращения: 23.10.2021).
7. В чем отличия различных марок ТЭП. – <https://clients.sibur.ru/helpful/> (дата обращения: 22.12.2021).
8. Гохман, Л.М. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС. М.: ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2004. – 584 с.
9. Небратенко Д.Ю., Исаков А.М. Применение высокоскоростного смесительного оборудования при изготовлении лабораторных образцов ПБВ. Салават, 2018 г., 12 с.
10. ABCD - asphalt binder cracking device // <https://www.abcd-test.ru/> (дата обращения: 03.12.2021).
11. Инвар // <https://ru.wikipedia.org/wiki/Инвар> (дата обращения: 03.12.2021).
12. Kashevskaya E.V., Boksha M.Yu., Isakov A.M., Nebratenko D.Yu. Závislosti vlivu struktury polymerů SBS na vlastnosti polofoukaných a oxidovaných asfaltových pojiv. Zkoušení materiálů a konstrukcí vozovek. ASFALTOVÉ VOZOVKY, 2021, pp.2-3.

© Д. Ю. Небратенко

Ссылка для цитирования:

Небратенко Д. Ю. ABCD – метод оценки низкотемпературного поведения дорожных вяжущих // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 1 (39). С. 37–41.

УДК 625.85.06

DOI 10.52684/2312-3702-2022-39-1-41-47

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОСЛЕ ПРОМОРАЖИВАНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ ДЛЯ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

А. А. Адоньева, И. А. Ефремов, А. С. Покатаев, Н. И. Савенкова, Д. Ю. Небратенко

Адоньева Анна Алексеевна, заместитель начальника лаборатории по органическим вяжущим, ООО Совместное предприятие «Автобан», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: lab_dss@mail.ru;

Ефремов Иван Александрович, заместитель начальника отдела контроля качества, Управление федеральных автомобильных дорог «Каспий» Федерального дорожного агентства, г. Астрахань, Российская Федерация, e-mail: efremov.ivan@mail.ru;

Покатаев Александр Сергеевич, начальник лаборатории, ООО Совместное предприятие «Автобан», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: lab@autobahn-group.com;

Савенкова Н. И., заместитель генерального директора по инновациям и качеству, ООО Совместное предприятие «Автобан», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: savenkova@autobahn-group.com;

Небратенко Дмитрий Юрьевич, кандидат химических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация, тел.: 89169363581; e-mail: nebratenko@mail.ru

Традиционно обзорные статьи по оценке влияния компонентного состава на свойства сложных многокомпонентных композиций являются следствием научных изысканий, проводимых исследовательскими организациями. Однако в последнее время все чаще такие исследования встречаются и в практической сфере. В данной работе, проведенной на базе производственной лаборатории, решалась задача регулирования свойств окисленных нефтяных дорожных битумов и полимерно-битумных вяжущих путем применения различных нефтепродуктов (пластификаторов). Исследование посвящено рассмотрению основных физико-механических свойств более десятка товарных и полупромышленных пластификаторов, применяющихся в нескольких отраслях. Проанализирована взаимосвязь состава рассмотренных марок пластификаторов и их влияние на основные свойства вяжущих. Разработана методика оценки агрегатного состояния после промораживания, то есть определения эффективности работы разных пластификаторов в составе полимерно-битумных вяжущих при пониженных температурах.

Ключевые слова: методика оценки агрегатного состояния после промораживания, пластификаторы широкого спектра действия, полимерно-битумные вяжущие, бутадиен-стирольные термоэластопласты (SBS-полимеры).