
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Известия вузов. Строительство. 2022. № 1. С. 22-30.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (1): 22–30.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.16:665.775

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-757-1-22-30

СТАРЕНИЕ БИТУМА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫМ КОНЦЕНТРАТОМ

**Валентина Васильевна Ядыкина, Василий Петрович Денисов,
Андрей Евгеньевич Акимов**

Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова,
Белгород, Россия

Аннотация. Производство полимерно-битумного вяжущего предполагает достаточно сложный и продолжительный технологический процесс, при котором вяжущее выдерживается при температуре 160–180 °С, что негативно сказывается на его качестве, интенсифицируя процессы старения. Рассматривается применение альтернативной технологии производства вяжущих с добавлением полимерно-битумного концентрата (ПБК-1) и ее влияние на устойчивость к старению вяжущих в процессе их приготовления и производства асфальтобетона. Для оценки степени старения вяжущих исследовались их физико-химические и реологические характеристики. Показаны преимущества полимерно-битумного вяжущего, получаемого по новой технологии, в сравнении с вяжущими классического способа производства. Дано теоретическое обоснование полученным результатам.

Ключевые слова: полимерно-битумное вяжущее, полимерно-битумный концентрат, реологические свойства, старение, динамическая вязкость

Благодарности: работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

Для цитирования: Ядыкина В.В., Денисов В.П., Акимов А.Е. Старение битума, модифицированного полимерно-битумным концентратом // Известия вузов. Строительство. 2022. № 1. С. 22–30. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-757-1-22-30.

Original article

AGING OF BITUMEN MODIFIED WITH POLYMER-BITUMINE CONCENTRATE

Valentina V. Yadykina, Vasily P. Denisov, Andrey E. Akimov

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Abstract. The production of polymer-bitumen binder involves a rather complex and lengthy technological process, in which the binder is kept at a temperature of 160–180 °C,

© Ядыкина В.В., Денисов В.П., Акимов А.Е., 2022

which negatively affects the quality of the binder, intensifying the aging process. This paper discusses the use of an alternative technology for the production of binders using a polymer-bitumen concentrate and its effect on the aging resistance of binders in the process of their preparation and production of asphalt concrete. To assess the degree of aging of binders, their physicochemical and rheological characteristics were studied. The advantages of the polymer-bitumen binder obtained by the new technology in comparison with binders of the classical production method are shown. A theoretical substantiation of the obtained results is given.

Keywords: polymer-bitumen binder, polymer-bitumen concentrate, rheological properties, aging, dynamic viscosity

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the «Priority 2030» Program with the use CVT equipment on the basis of V.G. Shukhov BSTU.

For citation: Yadykina V.V., Denisov V.P., Akimov A.E. Aging of bitumen modified with polymer-bitumine concentrate. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (1): 22–30. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-757-1-22-30.

Применение полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) в дорожном строительстве и при устройстве полов в помещениях для хранения и ремонта тяжелой техники и оборудования значительно осложняется несколькими факторами. Во-первых, технологические процессы производства полимерно-битумного вяжущего по традиционной технологии трудоемки и требуют сложного парка оборудования, что недоступно для небольших дорожно-строительных организаций. Во-вторых, выпуск ПБВ по указанной выше технологии достаточно затратен по времени, необходимы разогрев вяжущего до высоких температур и выдерживание получаемого продукта при этих температурах. Данная особенность производства ПБВ приводит не только к увеличению энергетических и финансовых затрат, но и вызывает существенную деградацию вяжущего под действием высоких температур. В результате происходит снижение важных показателей, обеспечивающих надежность и долговечность работы ПБВ в покрытии, а именно: сцепление вяжущего с поверхностью каменного материала, когезионная прочность, способность к внутренней релаксации возникающих напряжений [1–3].

Сложный комплекс физических и химических превращений в результате старения снижает пластичность и деформативную способность битумных материалов, превращая их в более хрупкие, поэтому старение битумного вяжущего и асфальтобетона следует рассматривать в качестве одной из основных причин преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий.

Зарубежный опыт [4] показал, что наиболее приемлемый размер частиц полимера для производства ПБВ составляет 0,5 мм. В этом случае для полного растворения и гомогенизации смеси потребуется около 2 ч, причем достаточно использовать для перемешивания обычное оборудование: лопастной смеситель принудительного действия, обеспечивающий равномерное распределение порошка полимера в объеме битума и интенсивный массообмен. При использовании гранул в аналогичных условиях технологический процесс увеличивается до 8 ч и более [5].

Результаты исследований отечественных и зарубежных ученых [5–9] показали, что высокая температура и длительность процесса приготовления и хранения вызывают старение ПБВ не только за счет старения битума, но и полимера. Определенное отрицательное влияние на стабильность ПБВ

оказывает присутствие в нем индустриального масла, которое приводит к интенсификации процессов окисления и деструкции полимера [6].

На основе анализа результатов исследований в работе [5] делается вывод, что обеспечения стабильности ПБВ можно добиться путем сокращения времени его приготовления, хранения, транспортирования при рабочей температуре, не превышающей 160 °С.

Согласно рассмотренным в данной работе результатам исследований, альтернативный способ получения ПБВ из полимерно-битумного концентрата позволяет произвести модифицированное вяжущее, растворяя полимерно-битумный концентрат, представляющий систему, содержащую высококонцентрированный диспергированный полимер, стабилизированный при помощи поверхностно-активных веществ (ПАВ) в нефтяной базе. Распределение полимера в битуме происходит путем механического или гидромеханического перемешивания полимерно-битумного концентрата при температуре 130–150 °С в течение 15 мин, после чего вяжущее выдерживается 15–20 мин для дозревания. Таким образом, продолжительность воздействия высоких технологических температур по сравнению с традиционной технологией значительно снижена.

Исследуемое вяжущее представляет битум БНД 70/100, модифицированный полимерно-битумным концентратом, введенным в количестве 8 %. Добавка ПБК-1 разработана научно-производственной компанией «Селена» совместно с кафедрой Автомобильных и железных дорог Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Модификатор представляет собой частицы полимера, диспергированного в органической базе и стабилизированного при помощи комплекса ПАВ.

В исследованиях, проведенных ранее, установлено, что при концентрации модификатора 8 % от массы вяжущего в случае применения в качестве базы битума БНД 70/100 наблюдаются признаки образования и стабилизации структуры полимера, а именно повышение температуры размягчения, понижение температуры хрупкости, появление эластичности.

Контрольным образцом при исследовании процессов старения было выбрано вяжущее марки ПБВ 60 заводского приготовления, произведенное по традиционной технологии с применением коллоидной мельницы и отвечающее нормативным требованиям ГОСТ Р 52056–2003.

Результаты определения физико-химических характеристик исследуемых образцов битумных вяжущих, а также требования соответствующих документов для битума БНД 70/100 и ПБВ 60 приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, вяжущее, получаемое модификацией битума БНД 70/100, соответствует требованиям ГОСТ Р 52056–2003, предъявляемым к полимерно-битумному вяжущему ПБВ 60.

Для численной оценки происходящих процессов старения вяжущего были выбраны несколько критериев: изменение ключевых физико-химических характеристик, косвенно указывающих на происходящие изменения качественного состава битума, и анализ реологических характеристик вяжущего до и после старения.

В лабораторных условиях имитация высокотемпературных технологических процессов проводилась путем выдерживания вяжущего в тонком слое в течение 5 ч при температуре 163 °С в лабораторной установке ТФОТ.

Таблица 1. Физико-механические характеристики исследуемых вяжущих
Table 1. Physical and mechanical characteristics of the investigated binders

Показатель	ГОСТ 31133–2014	ГОСТ Р 52056–2003	Концентрация ПБК, %		ПБВ 60
			0	8	
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при температуре 25 °С	71–100	Не менее 60	73	90	78
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при температуре 0 °С	Не менее 21	Не менее 32	26,0	38,0	41
Растяжимость, см при температуре 25 °С	Не менее 62	Не менее 25	87,0	47,0	37
Растяжимость, см при температуре 0 °С	Не менее 3,7	Не менее 11	4,5	14,0	12
Температура размягчения, °С	Не ниже 47	Не менее 54	47,3	53,9	55,5
Температура хрупкости, °С	Не выше –18	Не менее –20	–19,0	–20,0	–22,0
Эластичность, %	–	Не менее 80	–	81	87

Основные физико-химические характеристики вяжущего до и после старения определялись согласно методам испытаний, утвержденным в стандартах: ГОСТ 32054–2013 для определения температуры размягчения, ГОСТ 33136–2014 для определения глубины проникания иглы.

Оценка состояния вяжущего осуществлялась с использованием метода измерения динамической вязкости, применяемой при объемно-функциональном проектировании асфальтобетонных смесей. Для исследования изменения реологических характеристик использовался ротационный вискозиметр DV2T Brookfield с коаксиальным шпинделем S-19 и термомячейкой, обеспечивающей термостатирование образцов битума и поддержание температуры во время измерения. Вязкость замерялась согласно требованиям ГОСТ 33137–2014 в диапазоне температур от 75 до 165 °С.

Результаты, приведенные в табл. 2, показывают, что исследуемое вяжущее демонстрирует большую стабильность показателей, чем ПБВ, приготовленное в заводских условиях. В особенности необходимо обратить внимание на показатель изменения пенетрации при 0 °С. Руководствуясь значениями этого параметра, можно судить о работе вяжущего в условиях пониженных температур. Большая стабильность данного показателя после старения свидетельствует о том, что исследуемое вяжущее после процессов технологического старения будет иметь меньшую склонность к охрупчиванию и обеспечит лучшую работу в вязкоупругом состоянии. Также нужно отметить лучшую стабильность температуры размягчения после старения у модифицированного вяжущего. У контрольного образца изменение температуры размягчения произошло в 2 раза интенсивнее, чем у исследуемого в процессе старения.

Отмеченные выше показатели хотя и свидетельствуют о меньшем воздействии процессов термоокислительной деструкции на исследуемое вяжущее, но недостаточно подтверждают стабильность качественного состава и структуры при таких воздействиях. Изменения, происходящие в процессе

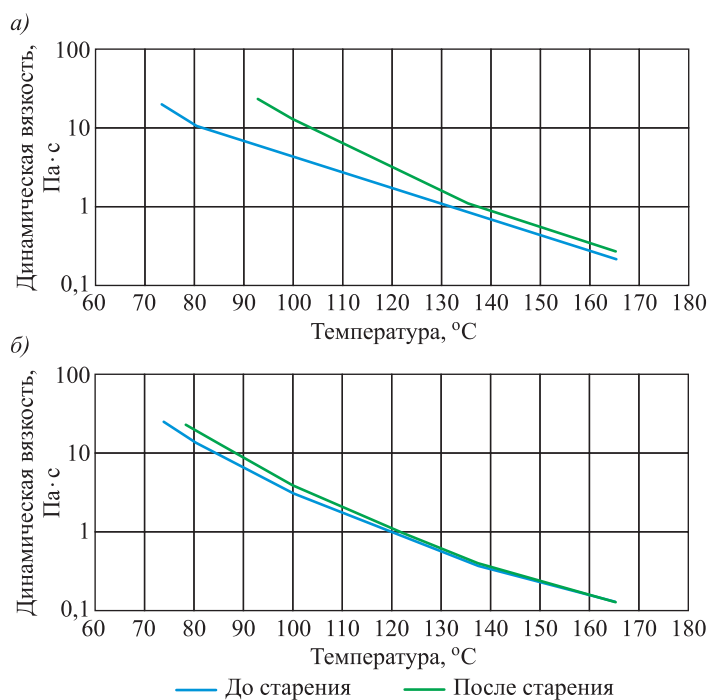
Таблица 2. Изменение ключевых показателей контрольного и исследуемого показателей вяжущего после старения

Table 2. Changes in the key indicators of the control and investigated indicators of the binder after aging

Показатель	ПБВ 60	Битум + ПБК
Изменение глубины проникания иглы при 25 °С после старения, %	45,0	42,0
Изменение глубины проникания иглы при 0 °С после старения, %	58,0	31,0
Изменение температуры размягчения, %	13,0	4,5

старения, отражаются на реологических характеристиках битума. Важнейшей реологической характеристикой вяжущего является его динамическая вязкость. Известно [10], что в результате процессов старения наблюдается снижение этого показателя. Поэтому для количественного анализа процессов старения вяжущего и полимера в ПБВ были выполнены исследования реологии образцов вяжущего на ротационном вискозиметре. Результаты измерения представлены на рисунке.

Приведенные данные показывают, что исследуемое вяжущее имеет большую стабильность динамической вязкости, чем контрольный образец, что характеризуется близким положением кривых зависимости вязкости от температуры (см. рисунок).



Изменение динамической вязкости образцов вяжущего после старения контрольного образца ПБВ 60 (а) и исследуемого вяжущего (б)

Change in the dynamic viscosity of binder samples after aging of the control sample PBV 60 (a) and the investigated binder (b)

Таблица 3. Индекс реологической стабильности вяжущего, рассчитанный для контрольного образца и модифицированного вяжущего

Table 3. The rheological stability index of the binder calculated for the control sample and the modified binder

Температура испытаний, °С	Тип вяжущего	
	Битум + 8 % ПБК	ПБВ 60
90	0,91	0,65
110	0,91	0,72
135	0,93	0,77
165	1,00	0,99

Для количественной оценки степени старения может быть введен индекс реологической стабильности вяжущего, представляющий отношение динамической вязкости до старения к динамической вязкости после старения:

$$I_d = \frac{\eta_{исх}}{\eta_{ст}},$$

где $\eta_{исх}$ – динамическая вязкость вяжущего при контрольной температуре до старения;

$\eta_{ст}$ – динамическая вязкость вяжущего при контрольной температуре после старения.

Результаты расчета индекса реологической стабильности вяжущего при различных температурах испытания приведены в табл. 3.

Большее значение индекса реологической стабильности для исследуемого вяжущего свидетельствует о меньшем изменении динамической вязкости после старения, а следовательно, о меньшем влиянии процессов старения вяжущего на его структуру и качественный состав.

Заключение. Результаты исследований показывают, что вяжущее, полученное путем растворения полимерно-битумного концентрата в исходном битуме, имеет лучшую стойкость к воздействию технологических температур по сравнению с контрольным образцом на ПБВ. Полученные данные могут быть объяснены с различных позиций.

Во-первых, процесс приготовления ПБВ по традиционной технологии происходит при более высоких температурах и гораздо большем времени, чем исследуемое вяжущее. Таким образом, процессы старения запускаются еще на стадии производства битумного вяжущего, а не асфальтобетона. Известно, что при старении ПБВ деструктивным процессам подвергаются не только битумные компоненты, но и сам полимер [11], что вносит существенную долю в изменение его свойств. Сокращение времени воздействия высоких температур (свыше 170 °С) на полимерно-битумную композицию позволяет обеспечить лучшую сопротивляемость старению при нормальных технологических температурах.

Во-вторых, для обеспечения возможности существования ПБК, а также для лучшего распределения полимера в процессе перемешивания в состав модификатора включены комплексы ПАВ [12]. Известно, что ПАВ стабилизируют структуру битума, делая ее более однородной и мелкодисперсной

[13]. Рассматривая старение вяжущего с точки зрения физического процесса структурного преобразования, можно утверждать, что алифатические амины и диамины, имеющиеся в составе ПАВ, препятствуют возникновению жесткой структурной решетки асфальтенов, образующейся в процессах старения, что подтверждается большей стабильностью динамической вязкости исследуемого вяжущего [14].

Таким образом, установлено, что щадящий температурный режим приготовления ПБВ с исследуемым модификатором позволяет получить вяжущее более устойчивое к старению по сравнению с ПБВ,готавливаемым по традиционной технологии. Кроме того, качественный состав битума, модифицированного ПБК, включает компоненты, выступающие в роли ингибиторов старения, предохраняющие структуру битумной базы (а возможно и полимерного наполнителя) от интенсивных процессов негативного структурообразования.

Список источников

1. *Васильев Ю.Э., Менькина У.О., Селезнев К.А., Рамос А.Л.* Эксплуатационное и технологическое старение органических вяжущих // Научно-технические инновации: Электронный сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. С. 58–68. DOI 10.12737/conferencearticle_5cecedc16585e4.49941232
2. *Пактер М. К., Стукалов А. А., Бородай Д.И.* Технологическое старение дорожного битума в составе асфальтового вяжущего // Вестн. Луганского гос. ун-та имени Владимира Даля. 2016. № 1. С. 101–104.
3. *Кирюхин Г.Н.* Влияние старения битумных вяжущих на долговечность асфальтобетонных покрытий // Мир дорог. 2018. № 111. С. 50–53.
4. Блоксополимер стирол-бутадиенстирол (СБС). Добавка в асфальтобетонную смесь для суровых климатических условий. Shell Chemicals. Научно-исследовательский центр «Шелл». Амстердам, Нидерланды. Информационный бюллетень, 2008. 8 с.
5. *Полякова В.И., Полякова С.В.* Особенности получения и применения полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве // Дороги и мосты. 2013. № 1. С. 277–298.
6. *Гохман Л.М.* Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС: Учеб. пособие. М.: ЗАО «ЭКОНИНФОРМ», 2004. 510 с.
7. *Золотарев В.А.* Сравнительные исследования окисленных и остаточных битумов и ПБВ // Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 3. С. 24–28.
8. *Игошин Ю.Г., Кременецкая Е.В.* Прогнозирование долговечности кровельных материалов // Кровли. 2007. № 4. С. 2–4.
9. *Micaelo R., Santos A., Duarte C.* Mixing and compaction temperatures of asphalt mixtures with modified bitumen // Proceedings of 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Istanbul, 2012. 7 p.
10. *Ерофеев В.Т., Ликомаскина М.А.* Оценка долговечности асфальтобетонов при испытаниях в климатических условиях с переменной влажностью, ультрафиолетовым облучением и агрессивной морской водой // Вестник МГСУ. 2016. № 6. С. 63–79.
11. *Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г.* Старение битум-полимерных вяжущих // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 15. С. 126–129.

12. Кудряшов П.А., Гермашев В.Г., Ядыкина В.В., Полежаев К.А. Влияние адгезионных добавок на термостабильность и старение битума // Дорожная держава. 2012. № 3. С. 2–4.
13. Горельшева Л.А. Теоретические аспекты систематизации добавок, улучшающих свойства битумного вяжущего и асфальтобетонной смеси // Дороги и мосты. 2019. № 2. С. 203–236.
14. Хойберг А.Д. Битумные материалы (Асфальты, смолы, пеки). М.: Химия, 1974. 246 с.

References

1. Vasilev Yu.E., Menkina U.O., Seleznev K.A., Ramos A.L. Operational and technological aging of organic binders. High technologies and innovations: Electronic collection of reports of the International scientific-practical conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhov. Belgorod, 2019. P. 58–68. (In Russ.). DOI 10.12737/conferencearticle_5cecedc16585e4.49941232
2. Pakter M.K., Stukalov A.A., Boroday D.I. Technological aging of road bitumen in the composition of asphalt binder. *Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalya = Bulletin of Luhansk State University named after Vladimir Dal*. 2016; (1): 101–104. (In Russ.).
3. Kiryukhin G.N. Influence of aging of bituminous binders on the durability of asphalt concrete pavements. *Mir dorog = World of roads*. 2018; (111): 50–53. (In Russ.).
4. Block copolymer styrene-butadiene styrene (SBS). Asphalt additive for harsh environments. Shell Chemicals. Shell research center. Amsterdam, Niderlandy. News bulletin. 2008. 8 p. (In Russ.).
5. Polyakova V.I., Polyakova S.V. Features of obtaining and using polymer-bitumen binders in road construction. *Dorogi i mosty = Roads and bridges*. 2013; (1): 277–298. (In Russ.).
6. Gokhman L.M. Complex organic binders based on block copolymers of the SBS type: Tutorial. Moscow, 2004. 510 p. (In Russ.).
7. Zolotarev V.A. Comparative studies of oxidized and residual bitumen and PMB. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli = Science and technology in the road industry*. 2011; (3): 24–28. (In Russ.).
8. Igoshin Yu.G., Kremenetskaya E.V. Forecasting the durability of roofing materials. *Krovli = Roof*. 2007; (4): 2–4. (In Russ.).
9. Micaelo R., Santos A., Duarte C. Mixing and compaction temperatures of asphalt mixtures with modified bitumen. Proceedings of 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Istanbul, 2012. 7 p.
10. Erofeev V.T., Likomaskina M.A. Evaluation of asphalt concrete emissions in climatic conditions with high humidity, ultraviolet radiation and aggressive sea water. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2016; (6): 63–79. (In Russ.).
11. Ayupov D.A., Murafa A.V., Khakimullin Yu.N., Khozin V.G. Aging of bitumen-polymer binders. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Kazan Technological University*. 2013; 16(15): 126–129. (In Russ.).
12. Kudryashov P.A., Germashev V.G., Yadykina V.V., Polezhaev K.A. Influence of adhesive additives on thermal stability and aging of bitumen. *Dorozhnaya derzhava = Road power*. 2012; (3): 2–4. (In Russ.).
13. Gorelysheva L.A. Theoretical aspects of systematization of additives that improve the properties of bituminous binder and asphalt mix. *Dorogi i mosty = Roads and bridges*. 2019; (2): 203–236. (In Russ.).
14. Khoyberg A.D. Bituminous materials (Asphalts, resins, pitches). Moscow, 1974. 246 p. (In Russ.).

Информация об авторах

В.В. Ядыкина – доктор технических наук, профессор, vvyu53@yandex.ru

В.П. Денисов – аспирант, wp@dorsoft.ru

А.Е. Акимов – кандидат технических наук, akimov548@gmail.com

Information about the authors

V.V. Yadykina – DSc, Professor, vvyu53@yandex.ru

V.P. Denisov – Post-graduate Student, wp@dorsoft.ru

A.E. Akimov – PhD, akimov548@gmail.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.11.2021
Одобрена после рецензирования 15.12.2021
Принята к публикации 22.12.2021

The article was submitted 15.11.2021
Approved after reviewing 15.12.2021
Accepted for publication 22.12.2021