



4. Казаков Ю. Н. Технология реконструкции зданий : монография / Ю. Н. Казаков, Ф. М. Адам. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 120 с.
5. Гайдо А. Н. Оценка показателей надежности и качества способов производства работ нулевого цикла / А. Н. Гайдо // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 1 (78). – С. 116–126.
6. Возняк Е. Р., Головина С. Г., Пухаренко Ю. В. Трансформация исторических зданий в Санкт-Петербурге и сохранение архитектурных и конструктивных элементов разных периодов / Е. Р. Возняк, С. Г. Головина, Ю. В. Пухаренко // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 5 (82). – С. 5–11
7. Тилинин Ю. И. Домостроительные технологии в системе сохранения и развития архитектурно-планировочной структуры исторических российских городов: монография / Ю. И. Тилинин, О. А. Пастух. (принадлежит авторство первой главы), Д. А. Животов, А. Н. Панин. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. – 239 с.
8. Мангушев Р. А. Петербургский «генетический код». Век XVIII и век XXI / Р. А. Мангушев, Н. С. Новородская, Т. А. Датсюк, Л. Н. Кондратьева // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 5 (76). – С. 33–40.
9. Соколов В. А. Вероятностный анализ технического состояния кирпичных стен зданий старой городской застройки / В. А. Соколов // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 1 (57). – С. 65–73.
10. Gaido A. Rationale for method of earthworks and foundation works during reconstruction / A. Gaido, S. Evtyukov // Contemporary Problems of Architecture and Construction : Proceedings of the 12th International Conference, ICCPAS, 2020. – CRC Press, 2021. – С. 31–36.
11. Мангушев Р. А. Геотехника Санкт-Петербурга. Опыт строительства на слабых грунтах: монография / Р. А. Мангушев, А. И. Осокин, С. Н. Сотников. – Москва : Ассоциация строительных вузов, 2018. – 386 с.
12. Мангушев Р. А. Особенности устройства фундаментов исторических зданий Санкт-Петербурга / Р. А. Мангушев, А. И. Осокин // Жилищное строительство. – 2009. – № 2. – С. 46–48.
13. Yudina A., Tilinin Yu. Selection of criteria for comparative evaluation of house building / A. Yudina, Yu. Tilinin // Architecture and Engineering. – 2019. – Т. 4, № 1. – С. 47–52. – DOI: <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-1-47-52>.
14. Тилинин Ю. И. Технологии строительства зданий в городских условиях / Ю. И. Тилинин, Д. А. Животов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 1 (43). – С. 32–37.
15. Юдина А. Ф. Развитие технологий жилищного строительства в Санкт-Петербурге / А. Ф. Юдина, С. А. Евтюков, Ю. И. Тилинин // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 1 (72). – С. 110–119.
16. Семенцов С. В. Развитие промышленности и ремесел в Санкт-Петербурге и окрестностях при Петре Первом / С. В. Семенцов, М. С. Штиглиц // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 6 (77). – С. 53–59.
17. Лapidус А. А. Организация работ по обследованию зданий и сооружений / А. А. Лapidус, Д. В. Топчий // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 3. – С. 12–15.

© Ю. И. Тилинин

Ссылка для цитирования:

Тилинин Ю. И. Выбор технологичных способов усиления бутовых фундаментов и кирпичных стен при реконструкции старых зданий Санкт-Петербурга // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 3 (49). С. 18–24.

УДК 665.775.4

DOI 10.52684/2312-3702-2024-49-3-24-30

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Д. Ю. Небрaтенко

Небрaтенко Дмитрий Юрьевич, кандидат химических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7(916) 936-35-81; e-mail: nebratenko@mail.ru

Одним из повсеместно присутствующих, но не всегда учитываемых природных воздействий в спектре солнечного света является УФ-излучение. Несмотря на незначительную глубину проникания данного типа излучения в верхние слои дорожных покрытий, его энергии достаточно для инициирования физико-химических процессов даже при относительно низких температурах. С учетом постоянного воздействия солнечного света в течение всего года и уноса шинами автомобиля компонентов самого верхнего слоя дорожного покрытия, разрушающегося под влиянием УФ-излучения (шелушения), суммарный ущерб становится весьма ощутимым. В статье проведена оценка влияния дозы поглощенного на физико-механические показатели промышленно выпускаемых полимерно-битумных вяжущих. Установлено снижение перетрации и повышение жесткости вяжущего после УФ-облучения в течение 30 ч для битума нефтяного

дорожного вязкого 70/100 на 40 %, а для полимерно-битумных вяжущих 60 – на 28 %. Изменение дуктильности составило для битума 65 %, а для полимерно-битумного вяжущего – 48 %.

Ключевые слова: камера светового старения, УФ-облучение, битумы нефтяные дорожные, СБС-полимеры.

FEATURES OF ULTRAVIOLET AGING OF POLYMER-BITUMEN BINDERS

D. Yu. Nebratenko

Nebratenko Dmitriy Yuryevich, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Highways, Airfields, Foundations and Foundations Department, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (916) 936-35-81; e-mail: nebratenko@mail.ru

One of the effects that are ubiquitously present, but not currently taken into account, is UV radiation in the sunlight spectrum. It was found that despite the insignificant penetration depth of this type of radiation into the upper layers of road surfaces, its energy is sufficient to initiate oxidative processes even at relatively low temperatures. And taking into account the constant exposure to sunlight throughout the year and the removal of components of the topmost layer of the road surface by the tires of the car, which is destroyed under the influence of UV radiation (peeling), the total damage becomes very noticeable. The paper evaluates the effect of the absorbed radiation dose (irradiation time) on the physico-mechanical properties of polymer-bitumen binders produced in industrial volumes. A decrease in the penetration of the binder and an increase in hardness after UV irradiation for 40 hours was found for BND 70/100 by 40%, and for PmB 60 – by 28 %.

Keywords: light aging chamber, UV irradiation, petroleum road bitumen, SBS polymers.

Введение

Постоянный рост интенсивности движения автомобильного транспорта, увлечение нагрузки на ось и активное использование шипованных шин в совокупности с глобальными изменениями природно-климатических условий постоянно выдвигают все возрастающие требования к материалам и конструкциям автомобильных дорог [1].

При этом дорожные материалы в разных конструкционных слоях дорожных покрытий ведут себя по-разному. Это необходимо учитывать, поскольку распределение температуры, сдвиговых напряжений и солнечной радиации в зависимости от глубины слоя покрытия существенно различаются. В связи с этим вопросы изменения качественного состава дорожных вяжущих в ходе эксплуатации ощущаются все более остро [2].

Всесторонние исследования, проводимые в мировом научном сообществе в течение последних десяти лет показали, что, несмотря на относительно небольшую глубину проникновения ультрафиолетового излучения в поверхностные слои асфальтобетонных покрытий, интенсивность и продолжительность излучения оказывают непосредственное влияние на изменение физико-механических и эксплуатационных свойств битумосодержащих материалов.

Спектр УФ-излучения охватывает волны длиной от 100 до 400 нм. При этом различают три основных сегмента УФ-спектра:

- типа А с длиной волны 315–400 нм;
- типа В с длиной волны 280–315 нм;

- типа С с длиной волны 100–280 нм.

Когда солнечный свет проходит сквозь атмосферу Земли, все лучи сегмента УФ-С и примерно 90 % лучей сегмента УФ-В поглощаются озоном, парами воды, кислородом, углекислым газом и т. д. На лучи сегмента УФ-А атмосфера влияет в меньшей степени. УФ-излучение типа А, достигающее планеты Земля, примерно на 95 % состоит из УФ-А и на 5 % – УФ-В, которые являются причиной УФ-старения углеводородных соединений, в том числе растительного и животного происхождения [3, 4].

Рассматриваемый тип старения, безусловно, отличается от термоокислительного под действием кислорода воздуха и непосредственно зависит от параметров излучения и состояния облучаемого объемного материала, наличия скрытых пустот и переуплотнений асфальтобетона. Увеличение показателя твердости асфальтобетона в результате старения битумного вяжущего в его верхних слоях безусловно приводит в итоге к активному низкотемпературному растрескиванию [5].

Степень воздействия солнечного излучения на тот или иной участок дорожной поверхности зависит от ее географического положения, угла наклона относительно горизонта, конфигурации застройки в зоне прохождения трассы, температурных параметров и т. д. Но основное влияние имеет широта местности расположения дорожного объекта. Она определяет зональность, а также сезонность солнечной радиации в зависимости от времени года. В экваториальной полосе угол падения солнечных лучей на поверхность

Земли является максимальным. В то же время для северного и южного полюсов наблюдается его уменьшение. Учитывая, что между углом падения солнечных лучей и суммарным количеством солнечного излучения (радиации) существует четкая зависимость, то очевиден вывод о снижении количества попадающей на земную поверхность солнечной радиации от экватора к полюсам.

Месячные и годовые суммы солнечной радиации (в кВт × ч/м²), зафиксированные в разных городах России за последние два десятилетия на горизонтальной панели, представлены в таблице 1.

В сочетании с другими природно-климатическими факторами, ультрафиолетовое излучение части солнечного спектра снижает эксплуатационные показатели поверхностных слоев и долговечность дорожных покрытий в целом. Этим объясняется все возрастающее внимание дорожного материаловедения к вопросам изменения свойств дорожно-строительных материалов, прежде всего битумных вяжущих, в ходе ультрафиолетового старения.

Таблица 1

Месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации для некоторых городов России [6]

Месяц	Астрахань, широта 46,4	Владивосток, широта 43,1	Москва, широта 55,7	Петрозаводск, широта 61
Январь	32,4	72,7	16,4	7,1
Февраль	52,9	93,2	34,6	19,9
Март	95,5	130,0	79,4	66,7
Апрель	145,5	135,1	111,2	101,1
Май	189,4	143,9	161,4	141,0
Июнь	209,9	129,2	166,7	167,1
Июль	189,7	124,3	166,3	157,7
Август	174,7	124,8	130,1	109,6
Сентябрь	127,8	119,1	82,9	56,5
Октябрь	81,7	94,3	41,4	23,0
Ноябрь	45,0	64,6	18,6	8,2
Декабрь	26,6	57,8	11,7	2,4
Годовая инсоляция	1 371,1	1 289,5	1 020,7	860,0

Основная часть

В качестве объектов исследования в данной статье были рассмотрены образцы промышленных партий нефтяных дорожных битумов и полимерно-битумных вяжущих. В качестве базового был применен битум нефтяной дорожный вязкий БНД 70/100, произведенный на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-МОСКОВСКИЙ НПЗ». Кроме того, были использованы образцы полимерно-битумного вяжущего из промышленных партий ПБВ 60, производимых на ООО «ГПН-РЗБМ» (табл. 2).

В данном исследовании для моделирования воздействия определенной части спектра солнечного излучения на изучаемые типы вяжущих была использована камера светового старения GOTESCH GT-7035-EUAB (рис. 1). Учитывая, что при эксплуатации на открытом воздухе температура дорожного покрытия под действием солнечного света может повы-

шаться, в качестве постоянного значения температуры для всех проведенных стадий облучения было выбрано 50 °С. Указанное значение позволяет снизить до минимального уровня окислительные процессы в ходе термоокисления, когда активация химических реакций окисления компонентов битумных вяжущих осуществляется за счет теплового воздействия. Учитывая сложный характер распределения энергетических потоков в реальном солнечном излучении, камера GOTESCH GT-7035-EUAB оснащена лампой солнечного света, мощность которой составляет 300 Вт, и двумя лампами, генерирующими УФ-излучение с длиной волны в диапазоне 280–315 нм. Все без исключения внутренние поверхности камеры светового старения являются зеркальными. Очевидно, что таким образом можно добиться достоверной инсоляции, то есть облучения исследуемой поверхности частью спектра солнечной радиации [7–10].

Паспортные показатели физико-механических свойств исследованных вяжущих

Наименование показателя	БНД 70/100, ГОСТ 33133-2014	ПБВ 60, ГОСТ Р 52056-2003
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С	93	75
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 0 °С	-	30
Растяжимость, см, при 25 °С	-	89
Растяжимость, см, при 0 °С	3,8	23
Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	48	59
Температура хрупкости по Фраасу, °С	- 20	- 22
Температура вспышки, °С	274	280
Изменение массы образца после старения, %	0,3	0,2
Эластичность, см, при 25 °С	-	94
Эластичность, см, при 0 °С	-	71



Рис. 1. Внешний вид камеры светового старения GOTECH GT-7035-EUAB (слева), расположение ламп солнечного света и УФ-излучения (в центре), а также пример размещения образцов в камере (справа)

Для проведения испытаний образцов вяжущих при разном времени экспозиции были изготовлены контейнеры из пяти слоев алюминиевой фольги толщиной 11 мкм каждый (рис. 2).

Учитывая, что УФ-излучение типа А имеет незначительную проникающую способность, не превышающей 3–3,5 мм [11, 12], массу навески для наполнения контейнеров рассчитывали исходя из максимальной толщины слоя образующейся пленки, равной 2 мм. Розлив вяжущего осуществляли при температуре порядка 100 °С с последующим не продолжительным прогревом в термощкафу с температурой, не превышающей 120 °С. Сокращение времени пребывания опытных образцов при повышенных температурах препятствует развитию термоокислительных процессов в объеме вяжущего.

Учитывая, что при розливе перед испытаниями и после них в УФ-части солнечного спектра для переноса вяжущего в жидком виде из контейнера для УФ-старения в регламентированные формы образцов на пенетрацию, дуктильность и иные стандартные испытания вяжущие подвергаются термоокислительному старению, исходные образцы вяжущих, не обработанных в камере УФ-облучения, также подвергались прогреву при 135 °С. Время последовательной ультрафиолетовой обработки образцов вяжущих составляло от 5 до 50 ч.

Затем был проведен комплекс сопоставительных испытаний согласно действующим национальным стандартам на дорожные вяжущие [13–15].

Из анализа графиков, представленных на рисунке 3, видно, что глубина проникания иглы

при 25 °С с ростом периода облучения снижается. Это характерно как для битума нефтяного дорожного вязкого, так и для полимерно-битумного вяжущего.

Исходя из приведенных в поле графика уравнений (рис. 3), описывающих экспериментально полученные значения, с вероятностью 99 % можно заключить, что на рубеже 30–50 ч УФ-облучения темпы снижения значения пенетрации при 25 °С для ПБВ 60 замедляются, а проникновение иглы уменьшается на 26–28 %. Для битума нефтяного дорожного вязкого 70/100 в указанном временном диапазоне УФ-облучения фиксируется постоянное повышение жесткости вяжущего, а падение глубины проникания иглы при 25 °С составляет 40 %. Наблюдающееся изменение угла наклона кривой для полимерно-битумного вяжу-

щего дает основания полагать стабилизацию значения пенетрации на более высоком уровне, чем для традиционного битума.

Широко используемым для оценки растяжимости битумов и эластичности ПБВ является испытание на дуктилометре. Указанный тип испытаний может дать качественную оценку возможности использования вяжущих в условиях отрицательных температур.

На рисунке 4 приведены данные по растяжимости битума нефтяного дорожного вязкого и полимерно-битумного вяжущего при 25 °С при разной продолжительности УФ-облучения. Анализ полученных результатов показал, что в ходе УФ-старения для традиционного битума наблюдается гораздо большее снижение растяжимости, чем для ПБВ. Это указывает на то, что в сравнении с БНД 70/100, ПБВ 60 обладает существенной большей устойчивостью к воздействию УФ-излучений.



Рис. 2. Внешний вид контейнеров для УФ-старения до (слева) и после (справа) их заполнения битумными вяжущими

Регламентные значения для битумов и полимерно-битумного вяжущего в настоящий момент определяются при 0 °С, для БНД 70/100 и ПБВ 60 составляют не менее 3,5 см и 11 см соответственно. В течение 30 ч УФ-облучения значение растяжимости существенно уменьшается для битума на 65 %, а для ПБВ – на 48 %. Таким образом, анализ поведения вяжущих разного типа в ходе ультрафиолетового старения позволяет оценить изменение

физического состояния асфальтобетонов на их основе. Логично предположить, что протекание реакций деструкции под действием УФ-облучения, последующего перекрестного сшивания и образования кислородсодержащих концевых групп в поверхностных слоях будет приводить к повышению их твердости и, как следствие, увеличению поверхностного разрушения (шелушения) асфальтобетона в ходе эксплуатации.

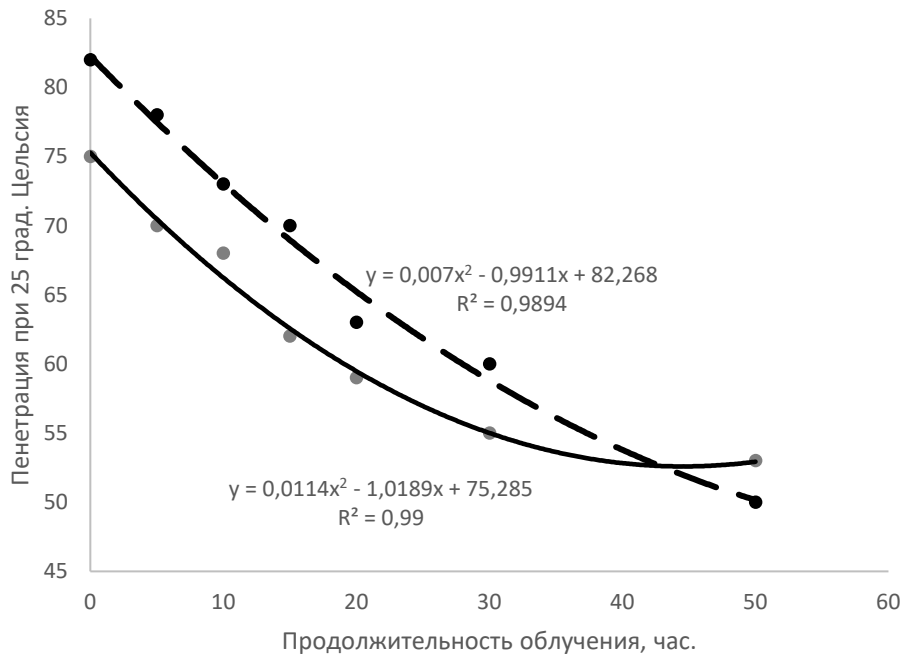


Рис. 3. Зависимость глубины проникания при 25 °С от продолжительности УФ-облучения образцов БНД 70/100 (штриховая кривая) и ПБВ 60 (сплошная кривая)

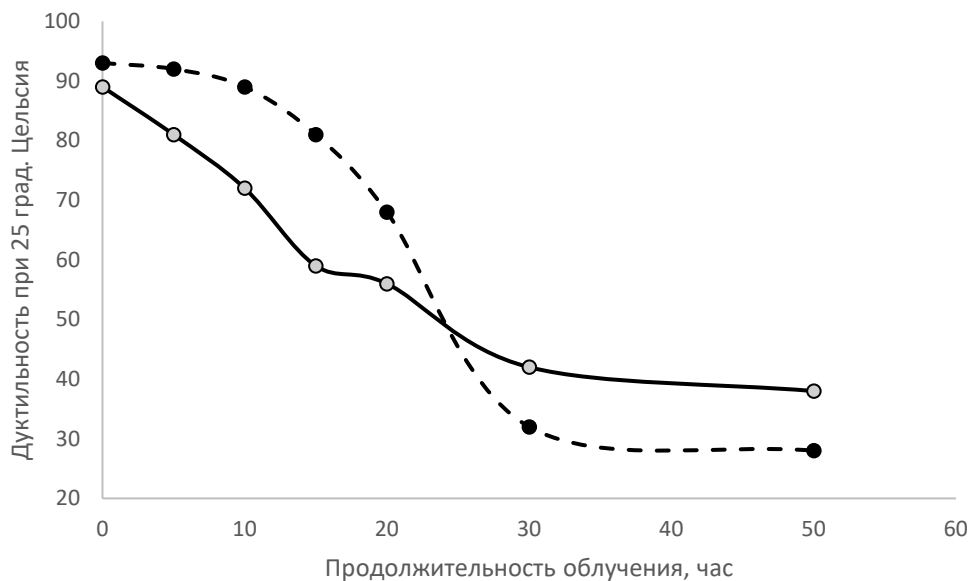


Рис. 4. Динамика изменения дуктильности при 25 °С) в ходе УФ-облучения для БНД 70/100 (штриховая кривая) и ПБВ 60 (сплошная кривая)

В заключении еще раз обратим внимание на необходимость учитывать влияние ультрафиолетового излучения на старение битумосодержащих композиций, в том числе модифицированных бутадиен-стирольными термоэластопластами. Данное излучение нельзя полностью игнорировать. Его воздействие можно

выделить и смоделировать, как это сделано в методах термоокислительного старения битумных вяжущих. Все это позволит повысить точность прогнозирования поведения битумов и полимерно-битумных вяжущих в ходе эксплуатации асфальтенов на их основе.

Список литературы

1. Быстров Н. В. Методы испытаний дорожных битумов / Н. В. Быстров. – Москва : Аврора, 2012. – 160 с.

2. Рожков И. М., Симчук Е. Н. Современные подходы при прогнозировании температурных условий эксплуатации асфальтобетонных конструктивных слоев дорожных одежд / И. М. Рожков, Е. Н. Симчук // *Дороги России*. – 2020. – Вып. 3. – С. 54–72.
3. Ультрафиолетовое излучение // Всемирная организация здравоохранения. – Режим доступа: [www.who.int/ru/news-room/questions-and-answers/item/ultraviolet-\(uv\)-radiation](http://www.who.int/ru/news-room/questions-and-answers/item/ultraviolet-(uv)-radiation), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Hu J. Effect of ultraviolet radiation in different wavebands on bitumen / J. Hu, et al. // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 159. – P. 479–485. – <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.117>.
5. Веюков Е. В. Исследование изменения несущей способности асфальтобетонного покрытия в ходе его технологического и эксплуатационного старения / Е. В. Веюков, С. В. Шубин, В. А. Чужайкин, Е. Д. Ягодкина // *Экономика строительства*. – 2023. – № 4. – С. 149–153.
6. Солнечная инсоляция в городах России и СНГ // ООО ПК «АНДИ Групп». – Режим доступа: <https://andi-grupp.ru/informatsiya/stati/solnechnaya-insolyatsiya-v-gorodakh-rossii/?ysclid=lwkrqq4del790980408>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Testing equipment of companies Gotech for quality control of binders // Gotech Testing Machines Inc. – Режим доступа: <https://www.gotech.com.cn/uploadfiles/2021/12/20211206102813007.pdf> (дата обращения: 12.04.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. кит.
8. National standard of the people's republic of China GB/T 16585-1996 Rubber, Vulcanized-Test Method of Resistance to Artificial Weathering (Fluorescent UV Lamp). – China : State Bureau of Quality and Technical Supervision, 1996. – 11 p.
9. Куприянов В. Н. Инсоляция зданий и территорий : учебное пособие / В. Н. Куприянов. – Казань : Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – 102 с.
10. Niu T. Y. Development of a binder fracture test to determine fracture energy properties / T. Y. Niu, R. Roque, G. A. Lopp // *Road Materials and Pavement Design*. – 2014. – Vol. 15. – P. 219–238. – DOI 10.1080/14680629.2014.927412.
11. Chen Z. Investigation of ultraviolet radiation aging gradient in asphalt binder / Z. Chen, H. Zhang, H. Duan // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 246. – P. 210–223. – <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118501>.
12. Zhang Z. A laboratory study of epoxy/polyurethane modified asphalt binders and mixtures suitable for flexible bridge deck pavement / Z. Zhang, J. Sun, Z. Huang, F. Wang, M. Jia, W. Lv, J. Ye // *Construction and Building Materials*. – 2021. – Vol. 274. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122084.
13. Демиденко О. В. Оптимизация материально-технического обеспечения строительства / О. В. Демиденко // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2024. – № 2 (48). – С. 44–49.
14. Федоров В. С. Об организации опытно-экспериментальной работы в ходе исследования влияния комплексности вибровоздействий наземного и подземного транспорта на здания и сооружения / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2024. – № 1 (47). – С. 95–100.
15. Alekseenko V. Rheology properties of bitumen binders with various fillers / V. Alekseenko, E. Verkhoturova, R. Zhitov, D. Nebratenko // *Vojnotehnicki glasnik*. – 2024. – Vol. 72 (2). – P. 695–707. – DOI: 10.5937/vojtehg72-48380.

© Д. Ю. Небрatenко

Ссылка для цитирования:

Небрatenко Д. Ю. Особенности ультрафиолетового старения полимерно-битумных вяжущих // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия* : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 3 (49). С. 24–30.