

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИТУМА МАРКИ БН 90/10 ПУТЕМ ЕГО НАПОЛНЕНИЯ СТЕКЛЯННЫМ ПОРОШКОМ

А. В. Ерофеев, В. А. Михайлов

*Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», AV.Erofeev@yandex.ru;
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

Ключевые слова: битум марки БН 90/10; наполнение битумов; пенетрация битума; растяжимость; температура размягчения; ультрафиолетовое облучение.

Аннотация: Нефтяной битум марки БН 90/10 в настоящее время нашел широкое применение в строительстве в качестве гидроизоляционного материала. Однако со временем происходит резкое его старение и ухудшение характеристик. Исследовано ухудшение эксплуатационных характеристик битума марки БН 90/10 под действие ультрафиолетового облучения. Предложено замедлить процесс старения путем повышения величин исходных характеристик. Показано, что такой эффект может быть достигнут посредством наполнения битума стеклянным порошком. Для установления оптимального наполнения проведено математическое планирование эксперимента с последующей экспериментальной проверкой полученных результатов. В качестве наполнителя использовался стеклянный порошок двух фракций: 0,15 и 0,063. Исходя из проверки значимости коэффициентов полученного уравнения регрессии установлено, что добавление в битум стеклянного порошка фракции 0,15 является не целесообразным. Оптимальным соотношением стекла к битуму является 1:1,75 по объему V с фракцией стеклянного порошка 0,063, что и показал дальнейший эксперимент.

Введение

Битумы представляет смесь углеводородов и их азотистых, кислородистых, сернистых и металлосодержащих производных. Нефтяные битумы являются продуктом переработки нефти и ее смолистых остатков. В зависимости от вязкости их делят на жидкие, полутвердые и твердые; способа переработки – на остаточные, окисленные, крекинговые.

В настоящее время наиболее широкое распространение в строительстве получил нефтяной битум марки БН 90/10. Объемы его использования с каждым годом растут. При этом отмечено, что основным недостатком битумов является его нестойкость к условиям эксплуатации. Основные характеристики битумов, такие как температура размягчения, растяжимость и пенетрация, под действием условий эксплуатации резко снижаются, что приводит к невозможности дальнейшей нормальной эксплуатации материала. Таким образом, под действием эксплуатационных условий наблюдается так называемое старение битумов, обуславливающееся изменением его состава: масла переходят в смолы, смолы в асфальтены. Наблюдается увеличение количества асфальтенов в битуме. Постепенно происходит уменьшение количества смол, придающих битуму тягучесть, пластичность. По мере увеличения количества асфальтенов постепенно увеличивается хруп-

кость битума и ухудшаются его пластические свойства. Ухудшение эксплуатационных характеристик битумов под действием различных факторов установлено многими исследователями [1, 2]. В работе продемонстрировано ухудшение эксплуатационных характеристик битума марки БН 90/10 под действием ультрафиолетового облучения.

Таким образом, на основании вышеизложенного, одной из актуальных задач строительного материаловедения является замедление процесса старения битума под действием неблагоприятных факторов. Улучшение исходных характеристик битума путем его наполнения является решением данной проблемы [3, 4]. В качестве наполнителя предложено выбрать стеклянный порошок фракций 0,15 и 0,063. Для определения оптимального соотношения компонентов необходимо провести математическое планирование эксперимента. Эффективность наполнения следует оценивать на основании сравнения изменения температуры размягчения, растяжимости и пенетрации наполненного и не наполненного битума марки БН 90/10, подверженных ультрафиолетовому облучению [5].

Методология

При решении вопроса по установлению оптимального состава наполненного битума марки БН 90/10 целесообразным является оперирование не непосредственно с количеством (весовыми пропорциями и др.) ингредиентов, а с их отношениями [6]. В данном случае удобно использовать число отношений z_i , которое выражает зависимость между различными компонентами q -компонентной смеси, на единицу меньше числа исследуемых переменных, то есть для трехкомпонентной смеси

$$z_1 = \frac{x_1}{x_2}, \quad z_2 = \frac{x_3}{x_2}.$$

За переменные x_1, x_2, x_3 принимались соответственно связующее (битум марки БН 90/10), стеклянный порошок фракции 0,063 (мелкий наполнитель), стеклянный порошок фракции 0,15 (крупный наполнитель). В качестве отклика принята температура размягчения битума марки БН 90/10. Математическая модель для определения температуры размягчения битума описывается уравнением

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \frac{x_1}{x_2} + b_2 \frac{x_3}{x_2},$$

где b_0, b_1, b_2 – коэффициенты уравнения регрессии.

В результате предварительных экспериментов за исходную точку исследования композиционного материала принята точка с координатами $x_1^0 = 60\%$, $x_2^0 = 30\%$, $x_3^0 = 10\%$. Исходя из технико-экономических соображений, целесообразным считалось варьирование всех факторов около исходного уровня на $\pm 5\%$. Экспериментальная область, следовательно, ограничивалась условиями $50 \leq x_1 \leq 70$, $20 \leq x_2 \leq 40$, $20 \leq x_3 \leq 0$.

Множество точек, одновременно удовлетворяющих всем трем двусторонним ограничениям при данном ограничении экспериментальной области, образуют шестиугольник, показанный на рис. 1, *a*. Здесь все точки на какой-нибудь линии, исходящей из вершины x_3 , имеют одно и то же соотношение компонентов x_1 и x_2 . Аналогично, линия, исходящая из вершины x_1 , является линией равных соотношений x_3 и x_2 . Точки, в которых данные линии скрещиваются внутри допустимой области экспериментирования, могут быть точками плана. Пересчет комбинаций условий, выраженных в соотношениях z , в комбинации условий в соответствующих натуральных переменных x , приведено на рис. 1, *б – д*.

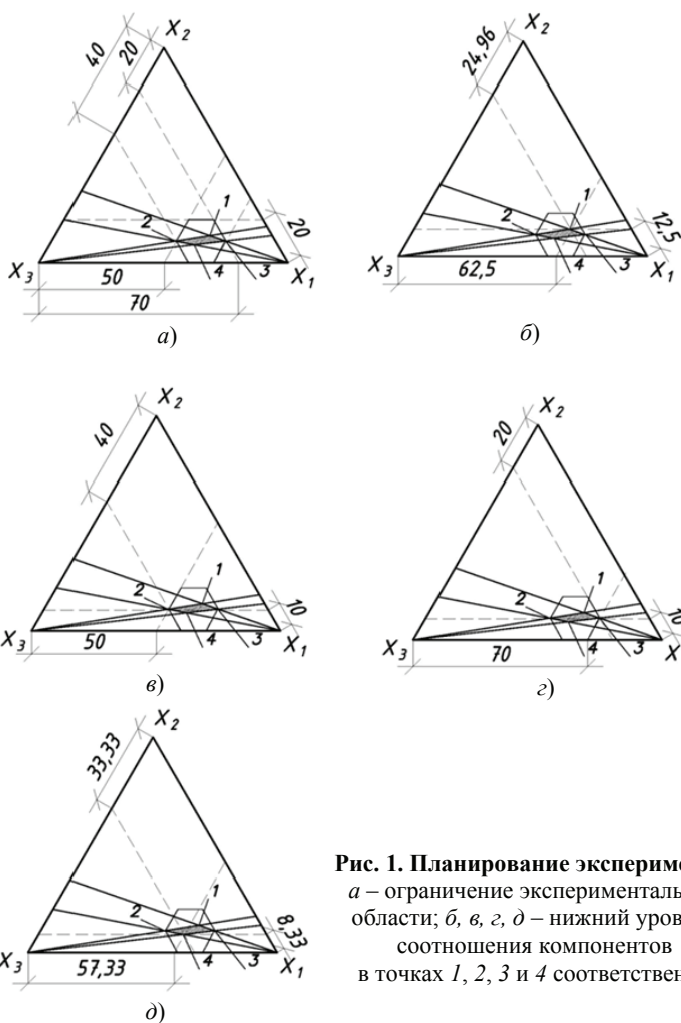


Рис. 1. Планирование эксперимента:
a – ограничение экспериментальной области; *б, в, г, д* – нижний уровень соотношения компонентов в точках 1, 2, 3 и 4 соответственно

Координаты точек, соответствующие опытам в исходных переменных x , определяются по следующим системам уравнений:

– для первого (см. рис. 1, *б*):

$$z_1^1 = \frac{x_1}{x_2} = 5, \quad z_2^1 = \frac{x_3}{x_2} = 2, \quad x_1 + x_2 + x_3 = 100$$

и равны соответственно 62,5, 12,5 и 25 %;

– второго (см. рис. 1, *в*):

$$z_1^1 = \frac{x_1}{x_2} = 1,4, \quad z_2^1 = \frac{x_3}{x_2} = 1,6, \quad x_1 + x_2 + x_3 = 100$$

и равны соответственно 50, 10 и 40 %;

– третьего (см. рис. 1, *г*):

$$z_1^1 = \frac{x_1}{x_2} = 5; \quad z_2^1 = \frac{x_3}{x_2} = 4, \quad x_1 + x_2 + x_3 = 100$$

и равны соответственно 70, 10 и 20 %;

– четвертого (см. рис. 1, δ):

$$z_1^1 = \frac{x_1}{x_2} = 2,6, \quad z_2^1 = \frac{x_3}{x_2} = 1,6, \quad x_1 + x_2 + x_3 = 100$$

и равны соответственно 58,33, 8,4 и 33,33 %.

Реализация опытов, согласно комбинациям условий, приведенным в табл. 1, позволила определить отклики y , приведенные в последнем столбце таблицы. Так как изменение отклика y носит случайный характер, то в каждой точке \bar{x}_g приходится проводить m параллельных опытов и результаты наблюдений $y_{g1}, y_{g2}, \dots, y_{gm}$ усреднять. Для каждой точки делали три замеса и результаты опытов усредняли.

Расчет коэффициентов уравнения регрессии, проведенный по стандартной методике, позволил получить уравнение регрессии, которое в данном случае имеет вид

$$\hat{y} = 78,93 - 0,104 \frac{x_1}{x_2} + 0,663 \frac{x_3}{x_2}.$$

Адекватность полученной модели проверялась на основании критерия Фишера. Вычисленное по результатам наблюдений значение критерия Фишера $F = 4,17$. Критическое значение $F_{кр} = 246$. Эмпирическое значение критерия F меньше критического $F_{кр}$, следовательно, гипотеза об адекватности не отвергается, и полученное математическое описание является адекватным. Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии позволила установить, что коэффициент b_1 является не значимым. Под данным коэффициентом понимается крупный наполнитель (стеклянный порошок фракции 0,15). Таким образом, оптимальным соотношением стеклянного порошка к битуму является 1:1,75 по объему V с фракцией порошка 0,063.

Для подтверждения полученных результатов, а также доказательства эффективности наполнения битума марки БН 90/10 стеклянным порошком в установленном соотношении проводились стандартные испытания.

Температура размягчения битума определялась на стандартном приборе кольцо-шар по ГОСТ 11506–73 [7]. Глубина проникновения иглы в битум (индекс пенетрации) определялся с помощью пенетromетра по ГОСТ 11501–78 [8]. Растяжимость битума определялась с помощью дуктилометра по ГОСТ 11505–75 [9].

Материал подвергался в течение 25, 50, 75, 100 и 125 часов ультрафиолетовому облучению в специальной камере.

Таблица 1

Матрица планирования

Номер опыта	План							Отклик y (температура размягчения)					
	в кодированных переменных		в отношениях		в исходных переменных, %			y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	\bar{y}
	δ_1	δ_2	z_1	z_2	x_1	x_2	x_3						
1	–1	–1	5	2	62,5	12,5	25	76,0	76,5	75	76,0	75,5	75,88
2		+1		4	50,0	10,0	40	80,5	82,0	81	82,0	81,5	81,38
3	+1	–1	7	2	70,0		20	77,0	78,0	76	77,5	76,8	77,13
4		+1		4	58,33	8,4	33,33	80,7	82,0	81	81,8	81,5	81,38

Основная часть

Для проверки корректности проведенного математического планирования помимо полученных в ходе него соотношений использовали соотношения 1:3, 1:2 и 1:1 по V . Результаты определения основных эксплуатационных характеристик битума марки БН 90/10 в зависимости от наполнения наглядно представлены на рис. 2.

Исходя из данных по температуре размягчения, можно сделать вывод, что соотношение 1:2 является лучшим, так как температура размягчения выше, чем у других, и равна 75 °С (см. рис. 2, *a*). Практически аналогичный результат дало и математическое планирование эксперимента, что говорит об адекватности его проведения.

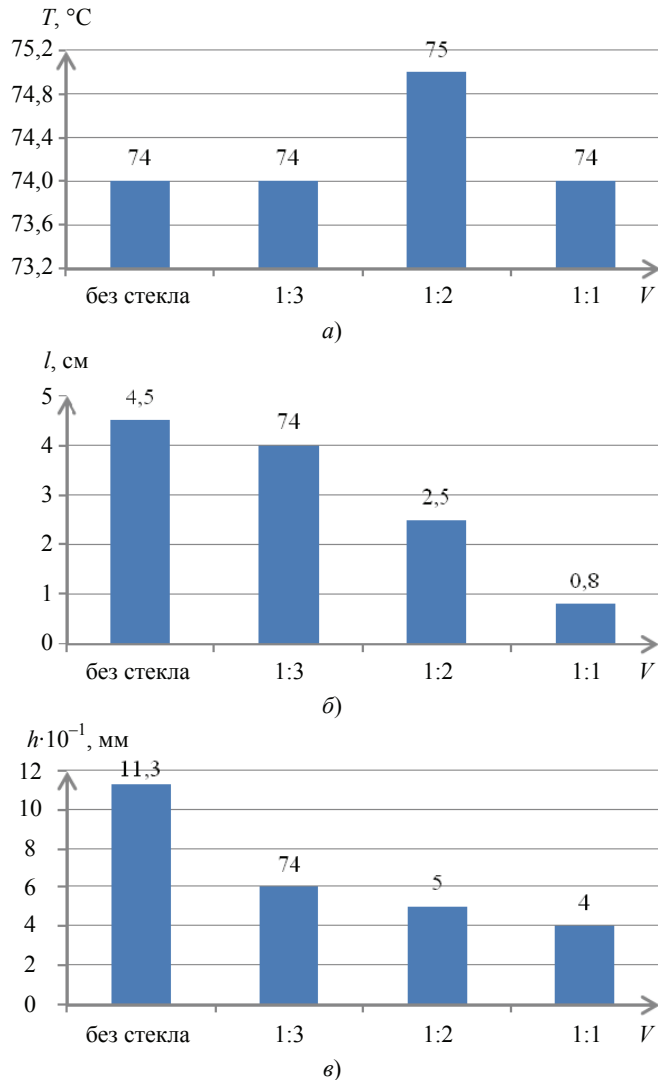


Рис. 2. Значения характеристик битума марки БН 90/10 с добавлением стекла с фракцией 0,063 в соотношениях 1:3, 1:2 и 1:1 по V :

a – температура размягчения, T °С; b – растяжимости, l , см, при $T = 25$ °С;

v – глубина проникновения иглы, h , мм

Исходя из данных по растяжимости, можно сделать вывод, что соотношение 1:3 является лучшим, так как растяжимость выше, чем у других, и равняется 4 см (см. рис. 2, б). Стоит отметить, что данный показатель хуже, чем для не наполненного битума. Однако такой эффект вполне ожидаем и объясним (в битум вводится плохо растяжимый материал). Следовательно, эту характеристику нельзя принимать за определяющую.

Исходя из данных по глубине проникновения иглы, можно сделать вывод, что соотношение 1:1 является лучшим, так как глубина проникновения иглы меньше, чем у других, и равна 0,4 мм (см. рис. 2, в). Однако все показатели входят в нормируемый интервал по ГОСТ, а с учетом большого разброса полученных экспериментальных данных ее также нельзя принимать за определяющую.

На рисунке 3, а, представлены графики, сравнивающие влияние УФ-облучения на битум, наполненный стеклянным порошком в соотношении 1:2 по V фракцией

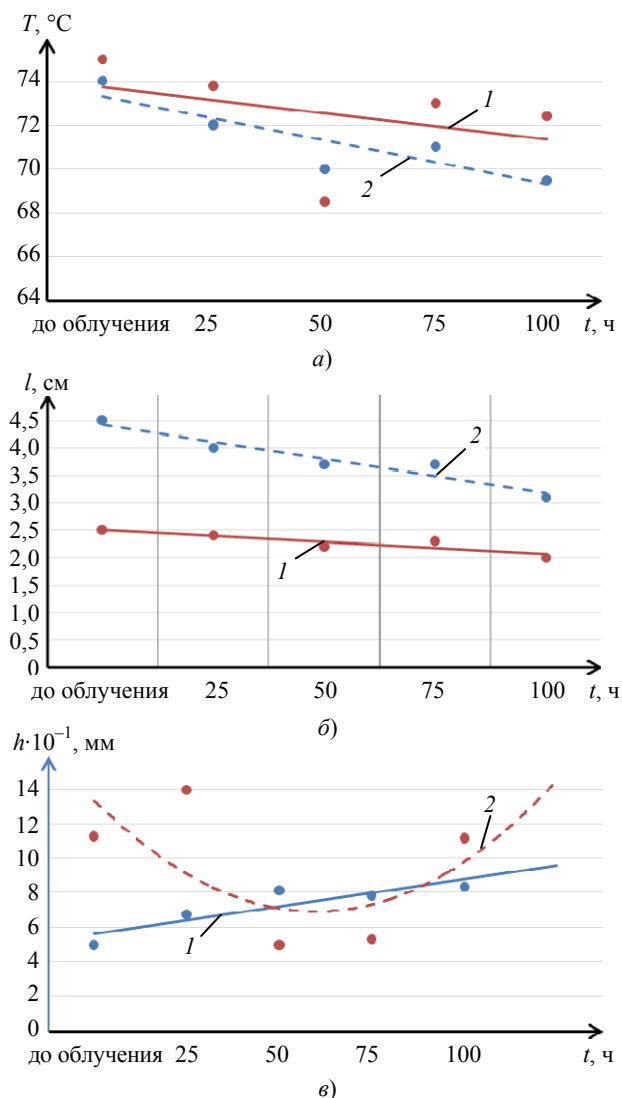


Рис. 3. Сравнительный анализ влияния УФ-облучения на битум марки БН 90/10 с наполнением (1) и без наполнения (2):

а – на температуру размягчения, $T, ^\circ\text{C}$; **б** – растяжимость, $l, \text{см}$, при $T=25 ^\circ\text{C}$;
в – глубину проникновения иглы, $h, \text{мм}$

0,063 ($y = -1,13x + 75,4$), с не наполненным битумом на температуру размягчения – $y = -1,13x + 75,4$. На рисунке 3, б, показаны графики, сравнивающие влияние УФ-облучения на битум, наполненный стеклянным порошком в соотношении 1:2 по V фракцией 0,063 ($y = -0,31x + 4,73$), с не наполненным битумом на растяжимость – $y = -0,31x + 4,73$; на рис. 3, в, – графики, сравнивающие влияние УФ-облучения на битум, наполненный стеклянным порошком в соотношении 1:2 по V фракцией 0,063 ($y = 0,783x + 4,873$), с не наполненным битумом на глубину проникновения иглы – $y = 1,1214x^2 - 7,6186x + 19,88$.

Из графика (рис. 3, а) видно, что битум, наполненный стеклянный порошок, имеет более высокую температуру размягчения, чем не наполненный битум. В течение всего срока ускоренного фотостарения у наполненного битума температура размягчения выше, чем у не наполненного битума, в среднем на 4 %. Угловой коэффициент, показывающий степень интенсивности протекания процесса старения битума, у наполненного и не наполненного битумов примерно одинаковый, то есть они стареют практически с одинаковой скоростью. Однако стоит отметить, что все же температура размягчения битума, наполненного стеклом, снижается под действием УФ-облучения менее интенсивно, чем у не наполненного [10].

Отмечено, что битум, наполненный боем стекла, имеет худшую растяжимость, чем не наполненный. В течение всего срока ускоренного фотостарения у наполненного битума растяжимость ниже, чем у не наполненного [11], но угловой коэффициент, показывающий степень интенсивности протекания процесса старения битума, у не наполненного – выше в 2,2 раза, чем у наполненного, то есть не наполненный битум стареет быстрее, чем наполненный. Это позволяет утверждать, что существует такое время облучения, после которого растяжимость битума, не наполненного стеклом, станет ниже, чем у наполненного битума.

Из графика (рис. 3, в) видно, что битум, наполненный боем стекла, имеет лучшую пенетрацию, чем не наполненный. В течение всего срока ускоренного фотостарения у наполненного битума пенетрация ниже, чем у не наполненного.

Выводы

Проведенные исследования показали, что выдвинутая гипотеза о возможности замедления процесса старения битумов путем добавления в них стеклянного порошка подтверждается. Дальнейшим развитием настоящей работы является установление экономической целесообразности такой модификации битума.

Список литературы

1. Прогнозирование характера обводнения и целесообразности проведения водоизоляционных работ / Р. Р. Кадыров, И. Г. Фаттахов, Е. Р. Хамидуллина, А. В. Патлай // Инженер-нефтяник. – 2012. – № 3. – С. 55 – 60.
2. Ярцев, В. П. Влияние эксплуатационных факторов на долговечность кровельных битумных материалов / В. П. Ярцев, М. В. Долженкова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2004. – Т. 10, № 4-2. – С. 1088 – 1093.
3. Ярцев, В. П. Повышение технологических и эксплуатационных характеристик строительного битума / В. П. Ярцев, Е. С. Полежаева // Кровельные и изоляционные материалы. – 2014. – № 6. – С. 14–15.
4. Ярцев, В. П. Влияние углеродных нанодобавок (таунит) на физико-механические характеристики и долговечность битума / В. П. Ярцев, Е. С. Полежаева, А. Ю. Бучнев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 4. – С. 1053 – 1058.

5. Муртазаев, С. А. Ю. Влияние тонкодисперсных микронаполнителей из вулканического пепла на свойства бетонов / С. А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, Р. Г. Бисултанов // Современные строительные материалы, технологии и конструкции : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова», 24 – 26 марта 2015 г., Грозный. – Грозный, 2015. – Т. 1. – С. 171 – 175.

6. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум) : учеб. пособие / В. П. Бородюк, А. П. Вошинин, А. З. Иванов, В. А. Кабанов ; под. ред. Г. К. Круга. – М. : Высш. шк., 1983. – 216 с.

7. ГОСТ 11506–73. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. – Взамен ГОСТ 11506–65 ; введ. 1974-07-01. – М. : Стандартиформ, 2008. – 7 с.

8. ГОСТ 11501–78. Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы. – Взамен ГОСТ 11501–73 ; введ. 1980-01-01. – М. : Стандартиформ, 2008. – 7 с.

9. ГОСТ 11505–75. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости. – Взамен ГОСТ 11505–65 ; введ. 1977-01-01. – М. : Стандартиформ, 2008. – 4 с.

10. Ерофеев, А. В. Влияние УФ-облучения на растяжимость битума / А. В. Ерофеев, М. С. Попов, В. А. Михайлов // Синергия наук. – 2017. – № 12. – С. 1052 – 1057.

11. Попов, М. С. Влияние УФ-облучения на температуру размягчения битума / М. С. Попов, А. В. Ерофеев, В. А. Михайлов // Современные технологии : актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. победителей VIII Междунар. науч.-практ. конф., 23 июня 2017 г., Пенза. – Пенза, 2017. – С. 35 – 37.

Improving the Performance Characteristics of BN 90/10 Brand Bitumen by Filling it with Glass Powder

A. V. Erofeev, V. A. Mikhailov

*Department of Construction of Buildings and Structures, AV.Erofeev@yandex.ru;
TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: BN 90/10 brand bitumen; bitumen filling; penetration of bitumen; elongation; softening temperature; ultraviolet radiation.

Resume: Oil bitumen of the BN 90/10 brand is currently widely used in construction as a waterproofing material. However, over time, there is a sharp aging and deterioration of its characteristics. The deterioration in the operational characteristics of BN 90/10 brand bitumen under the influence of ultraviolet radiation was studied. It is proposed to slow down the aging process by increasing the values of the initial characteristics. It is shown that such an effect can be achieved by filling bitumen with glass powder. To establish the optimal content, mathematical planning of the experiment was carried out with subsequent experimental verification of the results. As a filler, glass powder of two fractions was used: 0.15 and 0.063. Based on the verification of the significance of the coefficients of the obtained regression equation, it was found that the addition of bitumen glass powder fraction 0.15 is not appropriate. The optimum ratio of glass to bitumen is 1: 1.75 by volume V with a fraction of glass powder of 0.063, which was shown by a further experiment.

References

1. Kadyrov R.R., Fattakhov I.G., Khamidullina E.R., Patlay A.V. [Predicting the nature of flooding and the appropriateness of water-proofing works], *Inzhener-neftyanik* [Oil engineer], 2012, no. 3, pp. 55-60. (In Russ.)
2. Yartsev V.P., Dolzhenkova M.V. [Influence of operational factors on the durability of roofing bitumen materials], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2004, vol. 10, no. 4-2, pp. 1088-1093. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Yartsev V.P., Polezhayeva Ye.S. [Improving the technological and operational characteristics of building bitumen], *Krovel'nyye i izolyatsionnyye materialy* [Roofing and insulation materials], 2014, no. 6, pp. 14-15. (In Russ.)
4. Yartsev V.P., Polezhayeva Ye.S., Buchnev A.Yu. [Influence of carbon nano-additives (taunite) on the physicochemical characteristics and durability of bitumen], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 4, pp. 1053-1058. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Murtazayev S.A.Yu., Salamanova Sh., Bisultanov R.G. *Sovremennyye stroitel'nyye materialy, tekhnologii i konstruksii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy 95-letiyu FGBOU VPO «GGNTU im. akad. M. D. Millionshchikova»* [Modern building materials, technologies and designs: materials International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of FSBEI HPE "GSTU named after Acad. M. D. Millionshchikova"], 24-26 March, 2015, Grozny, 2015, vol. 1, pp. 171-175. (In Russ.)
6. Borodyuk V.P., Voshchinin A.P., Ivanov A.Z., Kabanov V.A., Krug G.K. [Ed.] *Statisticheskiye metody v inzhenernykh issledovaniyakh (laboratornyy praktikum): uchebnoye posobiye* [Statistical methods in engineering research (laboratory workshop): textbook], Moscow: Vysshaya shkola, 1983, 216 p. (In Russ.)
7. *GOST 11506–73. Bitumy neftyanye. Metod opredeleniya temperatury razmyagcheniya po kol'tsu i sharu* [GOST 11506–73. Oil bitumen. The method of determining the softening temperature of the ring and ball], Moscow: Standartinform, 2008, 7 p. (In Russ.)
8. *GOST 11501–78. Bitumy neftyanye. Metod opredeleniya glubiny pronikaniya igly* [GOST 11501–78. Oil bitumen. Method for determining the depth of penetration of the needle], Moscow: Standartinform, 2008, 7 p. (In Russ.)
9. *GOST 11505–75. Bitumy neftyanye. Metod opredeleniya rastyazhimosti* [GOST 11505–75. Oil bitumen. Method for determining elongation], Moscow: Standartinform, 2008, 4 p. (In Russ.)
10. Yerofeyev A.V., Popov M.S., Mikhaylov V.A. [Influence of UV irradiation on the elongation of bitumen], *Sinerhiya nauk* [Synergy of Sciences], 2017, no. 12, pp. 1052-1057. (In Russ., abstract in Eng.)
11. Popov M.S., Yerofeyev A.V., Mikhaylov V.A. *Sovremennyye tekhnologii: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statey pobediteley VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern technologies: current issues, achievements and innovations: collection of articles by winners VIII International Scientific and Practical Conference], 23 June, 2017, Penza, 2017, pp. 35-37. (In Russ.)

Verbesserung der Leistung von Bitumen der Marke BN 90/10 durch Füllen mit Glaspulver

Zusammenfassung: Erdölbitumen der Marke BN 90/10 hat derzeit eine breite Anwendung im Bauwesen als Abdichtungsmaterial gefunden. Im Laufe der Zeit kommt es jedoch zu einer starken Alterung und Verschlechterung seiner Eigenschaften.

Die Verschlechterung der Betriebseigenschaften von Bitumen BN 90/10 ist unter der Wirkung ultravioletter Strahlung untersucht. Es ist vorgeschlagen, den Alterungsprozess durch Erhöhen der Werte der ursprünglichen Eigenschaften zu verlangsamen. Es ist gezeigt, dass ein solcher Effekt durch Füllen von Bitumen mit Glaspulver erzielt werden kann. Um den optimalen Inhalt zu ermitteln, wurde eine mathematische Planung des Experiments mit anschließender experimenteller Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse durchgeführt. Als Füllstoff wurde ein Glaspulver mit zwei Fraktionen verwendet: 0,15 und 0,063. Basierend auf der Überprüfung der Signifikanz der Koeffizienten der erhaltenen Regressionsgleichung ist festgestellt, dass die Zugabe einer 0,15-Fraktion Glaspulver zu Bitumen nicht ratsam ist. Das optimale Verhältnis von Glas zu Bitumen beträgt 1: 1,75 volumetrisch V mit einer Glaspulverfraktion von 0,063, was ein weiteres Experiment gezeigt hat.

Augmentation des performances du bitume de qualitéla marque BN 90/10 par le remplissage de poudre de verre

Résumé: Le bitume de Pétrole BN 90/10 est actuellement largement utilisé dans la construction en tant que matériau d'étanchéité. Cependant avec le temps il arrive un vieillissement brutal et une détérioration des caractéristiques. Est étudiée la détérioration des caractéristiques de performance du bitume de la marque BN 90/10 sous l'action de l'irradiation ultraviolette. Est proposé de retarder le processus du vieillissement en augmentant les caractéristiques initiales. Est démontré qu'un tel effet peut être obtenu en remplissant le bitume avec de la poudre de verre. Pour établir le remplissage optimal, est réalisée une planification mathématique de l'expérience suivie d'une vérification expérimentale des résultats obtenus. La poudre de verre de deux fractions est utilisée comme charge: 0,15 et 0,063. A la base de la vérification de l'importance des coefficients de l'équation de régression obtenue, il est établi que l'addition d'une fraction de 0,15 dans le bitume de poudre de verre n'est pas appropriée. Le rapport optimal entre le verre et le bitume est de 1:1,75 en volume V avec une fraction de poudre de verre de 0,063, ce qui a montré l'expérience suivant.

Авторы: *Ерофеев Александр Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Михайлов Владислав Андреевич* – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Гончарова Маргарита Александровна* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительное материаловедение и дорожные технологии», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия.