

УДК 665.775

**ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОДОБАВОК (ТАУНИТ)
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БИТУМА**

В.П. Ярцев, Е.С. Полежаева, А.Ю. Бучнев

*Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;
lesenok-mishutka@mail.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: долговечность; одноосное растяжение; углеродная нанодобавка; термофлуктуационная концепция; физические константы.

Аннотация: Подобраны оптимальные составы наномодифицированного битума, которые при содержании нанодобавок в количестве 0,01 и 0,001 масс. ч. являются наиболее прочными и долговечными.

Современные темпы и огромный размах строительства в нашей стране требуют производства таких строительных материалов, которые соответствовали бы условиям эксплуатации в самых различных климатических районах, обеспечивая надежность и долговечность зданий и сооружений. Нефтяной битум является самым распространенным материалом для кровельных и гидроизоляционных работ. На кровлю и гидроизоляцию оказывают воздействие следующие факторы: атмосферные осадки (дождь, снег, град), ветер, ультрафиолетовое излучение, перепады температур, жизнедеятельность насекомых и микроорганизмов, механические нагрузки. В чистом виде по своей природе нефтяные битумы не могут обеспечить требуемую долговечность кровли и гидроизоляции. Одним из путей решения данной проблемы является создание битумных композиционных материалов. Применение нанодобавок, которые улучшат технологические и эксплуатационные характеристики строительных материалов, позволят решать проблемы повышения качества битума и материалов на его основе.

Перед изготовлением образцов битум необходимо обезводить, для чего чашку с пробой помещали в сушильный шкаф на песчаную баню и доводили до подвижного состояния, нагревая битум до температуры 120...180 °С в зависимости от его вязкости. Расплавленный битум процеживали через сито с отверстиями 0,6...0,8 мм и тщательно перемешивали до полного удаления пузырьков воздуха. В расплавленный битум небольшими порциями вводили нанодобавки и перемешивали до образования гомогенной смеси в течение 30–40 мин. Смесь выливали в формы, смазанные глицерином, и оставляли на сутки для устранения усадочных деформаций.

Изучение долговечности битумных материалов при одноосном растяжении проводили на стенде (рис. 1).

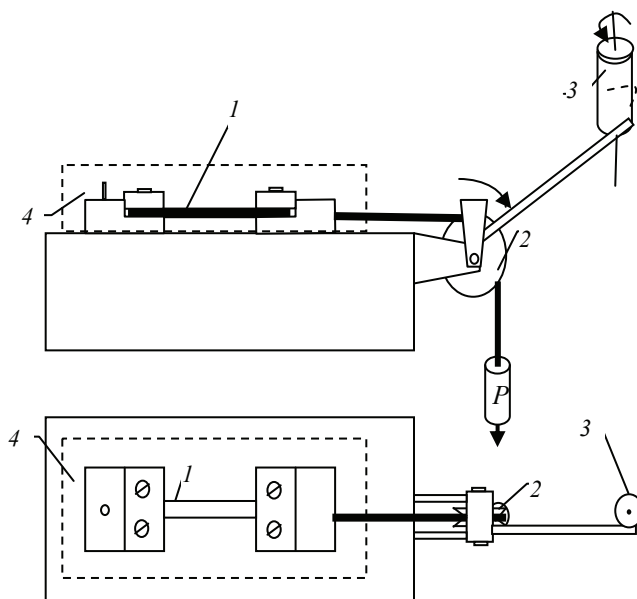


Рис. 1. Схема устройства для измерения долговечности при растяжении:
 1 – образец; 2 – блок; 3 – записывающее устройство; 4 – термокриокамера

Принцип работы стенда: к образцу, конец которого закреплен в неподвижном захвате, через блок прикладывали груз. Под действием груза поворачивается блок. На блок наматывается гибкая тяга, соединенная с подвижным захватом, которая передает нагрузку на испытуемый образец. Рычаг балансируется натяжением гибкой тяги. Автоматическая запись деформационных кривых, по которым рассчитывается долговечность, производится с помощью электронного потенциометра.

При небольших долговечностях (порядка секунд) образец разрушится раньше, чем датчик, фиксирующий деформацию данного образца, и будет снова подключен к потенциометру. Поэтому при малых долговечностях в потенциометре печатающий механизм отключали. Каждый из датчиков деформации подключали к потенциометру поочередно, диаграммную ленту пускали с малой скоростью. Деформационные кривые в этом случае записывали с помощью пера.

Для создания повышенных или пониженных температур образцы помещали в полуцилиндрическую термокриокамеру. Такая форма камеры устраняет градиент температуры между образцами. Стабильность температуры во времени составляет ± 1 °С.

Напряжение в образце вычисляли по формуле, МПа,

$$\sigma = \frac{N}{b\delta},$$

где N – нагрузка, приложенная к образцу, кН; b – ширина образца, м; δ – толщина образца, м.

Исследования физико-механических характеристик образцов битума с содержанием таунита по массе 0,1; 0,01; 0,001 % проводили на стандартном оборудовании [1]. В результате установлено, что образцы с содержанием 0,001 % таунита обладают наибольшей пластичностью при нагревании (игла пенетromетра полностью проходит сквозь образец) и пластичной прочностью при постоянной температуре.

Из таблицы 1 также видно, что при указанной концентрации таунита при одноосном растяжении прочность максимальна – она увеличивается более чем в 1,5 раза.

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что оптимальным является содержание таунита в битуме в количестве 0,01 %. Такая концентрация позволяет без больших затрат увеличить технологические и эксплуатационные характеристики строительного битума.

Для оценки долговечности битума в эксплуатационном диапазоне нагрузок и температур использовали термофлуктуационную концепцию прочности твердых тел. Согласно этой концепции на тело, кроме приложенной нагрузки, действует и тепловое движение атомов как решающий фактор механического разрушения. Испытания проводили при одноосном растяжении в режиме заданных постоянных напряжений и температур, фиксируя время до разрушения образца.

При постоянных параметрах испытывали 6–12 образцов и принимали среднее арифметическое значение за окончательный результат. Нагрузку варьировали в таких пределах, чтобы получить не менее пяти точек на одну прямую при заданной температуре (брали минимум три различные температуры).

Экспериментальные данные для битума с 0,01 % таунита обрабатывали в координатах $\lg t - \sigma$ при заданных постоянных температурах. Для выявления аналитической зависимости, связывающей время до разрушения, напряжение и температуру, зависимости перестраивали в координаты $\lg t - 10^3/T$.

Временная зависимость прочности битумных композиций в полулогарифмических координатах представлена на рис. 2.

В исследуемом диапазоне температур зависимости $\lg t - \sigma$ (рис. 2, а) имеют нелинейный характер. В двойных логарифмических координатах эти же данные представляют собой семейство прямых (рис. 2, б), что соответствует поведению низкомолекулярных наполненных резин [2]. Следовательно, наномодифицированный битум, так же как и наполненные резины, является материалом, промежуточным между каучукоподобными и твердыми полимерами.

В случае, когда зависимости в координатах $\lg t - \sigma$ нелинейны, а при перестроении в координаты $\lg t - \lg \sigma$ образуют прямой пучок (см. рис. 2, б), то их можно описать уравнением [3]

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \chi \lg \sigma}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_m} \right) \right], \quad (1)$$

где τ_m , U_0 и T_m – константы, имеющие физический смысл; χ – эмпирическая константа, имеющая размерность энергии; τ_m – период колебания кинетических

Таблица 1

Технологические и эксплуатационные характеристики битума

Содержание таунита по массе, %	Растяжимость, см	Прочность при растяжении σ_p , МПа	Глубина проникания иглы, мм		
			$t, ^\circ\text{C}$		
			+25	+40	+60
–	3,0	0,176	1,5	2,56	3,48
0,1	2,73	0,194	0,9	2,48	3,32
0,01	3,4	0,216	0,94	2,28	3,56
0,001	3,1	0,263	1,04	2,62	2,76

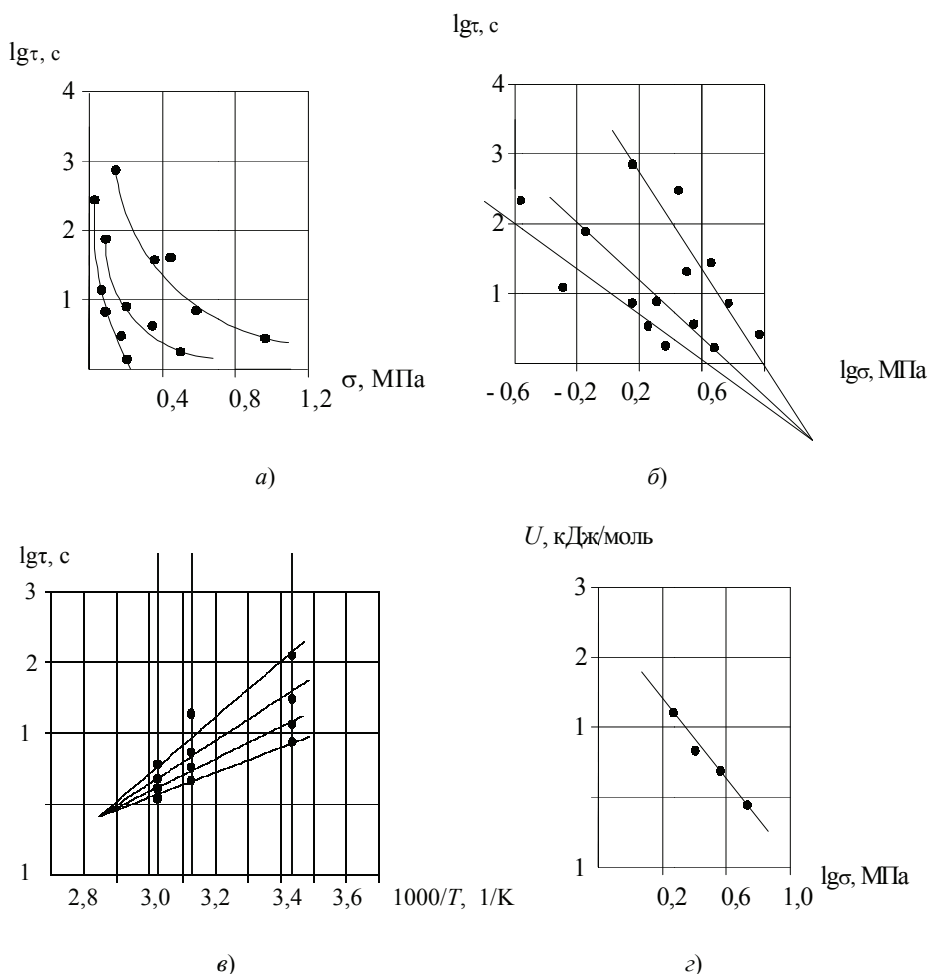


Рис. 2. Временная зависимость прочности битумных композиций в полулогарифмических координатах

единиц – атомов, групп атомов, сегментов; U_0 – энергия активации, кДж/моль; T_m – предельная температура существования материала, К; σ – напряжение, МПа; T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная; τ – время до разрушения (долговечность), с.

Физические константы, входящие в это уравнение, определяются графоаналитическим способом. Константы τ_m и T_m находятся из положения полюса. Для определения константы U_0 все прямые перестраивали в координаты $\lg\tau-1000/T$ и по равенству $U(\sigma) = 2,3R \frac{\Delta \lg \tau}{\Delta(10^3/T)}$ рассчитывали значения энергий активации U .

По полученным данным строили зависимость в координатах $U-\lg\sigma$. При экстраполяции на $\sigma = 0$ определяли максимальную энергию активации U_0 , а по тангенсу угла наклона прямой $U-\sigma$ величину γ .

Рассчитанные значения констант представлены в табл. 2, откуда видно, что введение наночастиц углерода приводит к изменению кинетики термодеструкции и увеличению энергии активации разрушения. Это указывает на

Значение термофлуктуационных констант битума

Количество таунита, %	U_0 , кДж/моль	χ , кДж/моль	$10/T_m$, К	τ_m , с
0	187	–	2,29	$10^{-4,5}$
0,01	202	92	2,59	$10^{-3,5}$

химический механизм взаимодействия таунита с продуктами термомеханодеградации битума и образование более крупных кинетических единиц. Предельная температура разложения T_m падает, а период колебания кинетических единиц τ_m растет. Это подтверждает образование конгломератов вокруг нанодобавок и объясняет механизм увеличения прочности.

Для оценки работоспособности из уравнения (1) можно выразить два оставшихся параметра:

$$\text{– прочность} \quad \lg \sigma = \frac{1}{\chi} \left(U_0 - \frac{2,3RT}{1 - T/T_m} \lg \frac{\tau}{\tau_m} \right); \quad (2)$$

$$\text{– теплостойкость} \quad T_{II} = \left(\frac{1}{T_m} + \frac{2,3R}{U_0 - \chi \sigma} \lg \frac{\tau}{\tau_m} \right)^{-1}. \quad (3)$$

Эти параметры также можно рассчитать, зная величины физических и эмпирических констант битума с нанодобавками.

Список литературы:

- ГОСТ 14359–69. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования. – Введ. 1970–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 19 с.
- Бартенев, Г.М. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов / Г.М. Бартенев, Ю.С. Зуев. – М.–Л. : Химия, 1964. – 221 с.
- Гурова, Е.В. Долговечность композиций на основе битума марки БН-90/10 / Е.В. Гурова, В.П. Ярцев // Композиционные строительные материалы. Теория и практика : сб. науч. тр. межд. науч.-практ. конф. / Пенз. гос. ун-т архитектуры и строительства. – Пенза, 2002. – С. 106–109.

The Influence of Carbon Nano-Additives (Taunit) on Physical-Mechanical Performance and Durability of Bitumen

V.P. Yartsev, E.S. Polezhayeva, A.Yu. Buchnev

Department "Construction of Buildings and Structures", TSTU;
lesenok-mishutka@mail.ru

Key words and phrases: carbon nano-additive; longevity; physical constants; thermal fluctuation concept; uniaxial tension.

Abstract: The optimum compositions of nano-modified bitumen are selected and developed; when the content of nano-additives reaches the amount of 0.01 and 0.001 they become the most robust and durable.

Einfluß der Kohlenstoffzusätze (Taunit) auf die physikalisch-mechanischen Charakteristiken und die hohe Bitumnutzungsdauer

Zusammenfassung: Es sind die optimalen Kompositionen des nanomodifizierten Bitumes, die bei dem Gehalt der Nanozusatzstoffe in der Menge von 0.01 und 0.001 mass.st. haltbarer und dauerhafter sind, gewählt.

Influence des additions carboniques (Taunit) sur les caractéristiques physiques et mécaniques et sur la durabilité du bitumen

Résumé: Sont relevées les compositions optimales du bitume nanomodifié qui sont les plus rigides et les plus durables avec le contenu des nanoadditions en qualité de 0.01 et 0.001 mass.h.

Авторы: *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений»; *Полежаева Елена Станиславовна* – магистрант кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Бучнев Артем Юрьевич* – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Монастырев Павел Владиславович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», декан архитектурно-строительного факультета, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
