

УДК 625.85:691.168

В. Т. ЕРОФЕЕВ^{1, 2}, акад. РААСН, д-р техн. наук, д-р биол. наук, проф. кафедры микробиологии и физиологии растений, декан архитектурно-строительного факультета, **М. А. ЛИКОМАСКИНА¹**, аспирант кафедры строительных материалов и технологий архитектурно-строительного факультета; **В. В. АФОНИН¹**, канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления института электроники и светотехники, **А. И. АРХИПОВА¹**, канд. техн. наук, начальник отдела управления интеллектуальной собственностью

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ НА МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ПЕСЧАНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»

Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68. Тел.: (987) 692-67-24; эл. почта: chakichevama@list.ru

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского»

Россия, 603022, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 23. Тел.: (831) 462-30-03

Ключевые слова: асфальтобетоны, модуль деформации, долговечность, биосреда, мицелиальные грибы, интерполяция линейная, Эрмита.

В процессе эксплуатации в асфальтобетонных покрытиях появляется значительное количество дефектов в виде разрушений и деформаций. Для повышения долговечности асфальтобетона и увеличения межремонтных сроков в первую очередь необходимо обеспечить его устойчивость к трещинообразованию, особенно в осенне-зимне-весенний период, увеличить его сопротивляемость к сдвиговым нагрузкам в летний период, повысить усталостную долговечность. В этой связи научную и практическую ценность имеют результаты исследований, направленных на установление показателей, характеризующих изменения свойства асфальтобетонов под воздействием эксплуатационных факторов. В настоящей работе в качестве исследуемого свойства рассматривался модуль деформации и его изменение в условиях воздействия микробиологического фактора, а именно, мицелиальных грибов. После проведения испытаний в стандартной среде мицелиальных грибов установлены количественные зависимости стойкости асфальтобетонов различного типа.

Срок службы российских автомобильных дорог, мостов и эстакад, к большому сожалению, является недостаточно высоким, и тому есть ряд объективных причин. Прежде всего, общий рост числа автомобилей и перевозок грузов автотранспортом. К тому же российские и зарубежные автопроизводители постоянно совершенствуют колесную технику, что приводит для грузовых автомобилей и прицепов к ним к росту осевой нагрузки, а для легковых и грузопассажирских автомобилей – к росту мощности двигателя и возрастанию сдвиговых усилий в момент разгона/торможения. В настоящее время в связи с увеличением интенсивности и грузонапряженности автомобильного движения одной из важнейших тенденций в строительстве дорог является стремление к повышению срока службы асфальтобетонных покрытий.

Покрытия автомобильных дорог в процессе эксплуатации находятся под воздействием главным образом двух групп факторов; во-первых, механических,



обусловленных нагрузками от транспортных средств, и во-вторых, погодно-климатических, химико-биологических и температурно-влажностных воздействий. Под воздействием второй группы факторов происходят необратимые изменения свойств и структуры асфальтобетона в слое покрытия, способствующие к снижению способности воспринимать нагрузки разного рода. Циклическое воздействие нагрузок, температурно-влажностных и других факторов приводят к усталостным явлениям [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Согласно многочисленным исследованиям [6, 10, 11, 13], повышенный интерес к исследованию вопросов усталостного разрушения дорожных покрытий во многом объясняется необходимостью увеличения реальных сроков службы асфальтобетонных покрытий. При воздействии на дорожную конструкцию нагрузок от движущихся транспортных средств в слоях асфальтобетонного покрытия вследствие прогиба дорожной конструкции возникают растягивающие и сжимающие напряжения. При проходе колеса автомобиля максимальные растягивающие напряжения возникают в подошве покрытия. Хотя активные напряжения существенно меньше критических, локальные напряжения, связанные с неоднородностью материала, могут отклоняться от среднего значения и в местах, где они превышают предел прочности пленок битума, связи рвутся – последнее определяется также предельной деформативностью материала [6, 14]. Повторные приложения нагрузок приводят к накоплению разорванных связей и образованию микрополостей. В результате через определенное число циклов приложения нагрузки в подошве покрытия под полосой наката возникают микротрещины, объединяющиеся затем в макротрещины. Макротрещины растут одновременно в двух направлениях: вверх и параллельно плоскости покрытия. Еще через определенное число циклов нагружения трещина прорастает сквозь покрытие и становится видимой на его поверхности. Многочисленные международные исследования, выполненные в последние годы, показали, что усталостное трещинообразование может развиваться и от поверхности дорожного покрытия в глубину [6, 13]. В ходе разработки «Руководства по механико-эмпирическому проектированию новых и реконструируемых дорожных одежд» (США) рассматривались два типа усталостного трещинообразования: восходящее и нисходящее. Восходящее усталостное трещинообразование начинается с появления коротких продольных и поперечных трещин на полосе наката, которые быстро распространяются, образуя сетку трещин. Размер ячейки уменьшается за счет появления дополнительных трещин, и сетка трещин переходит в растрескивание типа «крокодиловая кожа» с размером ячеек менее 50×50 см. Эти трещины образуются в подошве асфальтобетонного покрытия и распространяются к поверхности под действием многократных нагрузок. В работах [6, 7] предполагаются следующие механизмы нисходящих усталостных трещин: критические растягивающие и сдвигающие напряжения на поверхности асфальтобетонного покрытия, вызванные воздействием шин колес автомобилей с высоким контактным давлением; интенсивное старение асфальтобетонного слоя на поверхности приводит к повышению его жесткости, что при действии транспортной нагрузки способствует появлению и ускоренному развитию трещин. Следует отметить, что влияние модуля упругости земляного полотна на нисходящее усталостное трещинообразование противоположно его влиянию на восходящее. Если повышение модуля упругости грунта приводит к замедлению образования восходящих усталостных трещин, то нисходящее трещинообразование при этом увеличивается. Любой фактор, повышающий прочность основания (более прочный грунт земляного полотна, укрепленное основание и т. д.), вызыва-



ет повышенные растягивающие напряжения в поверхностном слое и увеличивает продольное трещинообразование.

Наблюдения за состоянием автомобильных дорог при эксплуатации показывают, что процессы разрушения дорожных одежд «усиленной» прочности (с толщиной асфальтобетонных слоев более 18 см) и «средней» прочности (с толщиной асфальтобетонных слоев 10–14 см) имеют различный характер. При малой толщине слоев асфальтобетона в подошве покрытия возникают большие растягивающие напряжения, приводящие к появлению поперечных и продольных трещин по полосам наката. В летний период возможен процесс «залечивания» трещин. Однако быстрое развитие сквозных трещин (учитывая малую толщину асфальтобетонных слоев) способствует прониканию атмосферных осадков в нижележащие слои дорожной одежды и грунт земляного полотна, их ослаблению, что, в свою очередь, при воздействии транспортных нагрузок приводит к образованию сетки трещин [13].

Дорожные одежды с повышенной толщиной асфальтобетонных слоев могут быть подвержены нисходящему продольному трещинообразованию, особенно в южных районах, где процессы старения асфальтобетона протекают наиболее интенсивно, в этой связи при оценке долговечности асфальтобетонных покрытий необходимо учитывать перечисленные факторы взаимосвязано, так как результат их совместного воздействия на покрытие существенно отличается от влияния каждого фактора в отдельности [15]. Из вышеизложенного следует, что от искусственных конгломератов, в том числе асфальтобетонов, работающих в зданиях и сооружениях, воспринимающих нагрузки, требуется, чтобы достаточная механическая прочность сочеталась с деформационной устойчивостью, т. е. с его способностью надежно противостоять возникновению и развитию необратимых деформаций (пластических, ползучести) или появлению и росту трещин. Имеются многочисленные примеры, когда конгломератный материал, обладая достаточной прочностью, проверенной по расчетным нагрузкам, преждевременно разрушается вследствие недостаточной деформационной устойчивости появления и развития необратимых деформаций [15, 16, 17, 18, 19]. Под влиянием внешних факторов – силовых и температурных, а также внутренних спонтанно развивающихся явлений – структуры, особенно микроструктуры со временем подвержены изменениям, поэтому многие составы асфальтобетонов способны к износу с изменением прочностных и деформативных свойств от упруго хрупких до вязкопластических [14], этому также способствуют эксплуатационные среды [19, 20].

Долговечность является важнейшей характеристикой дорожных асфальтобетонных покрытий, строительных материалов, изделий, конструкций в том числе асфальтобетонных покрытий. Долговечность асфальтобетона должна учитываться при конструировании дорожных одежд, разработке новых технологий приготовления асфальтобетонных смесей, проектировании их составов, применении модифицирующих добавок в процессе получения смесей с целью улучшения их качества. Во многих случаях долговечность асфальтобетона является главным критерием при выборе составов и технологий приготовления различных асфальтобетонных смесей [4, 6, 7, 13].

Старение материала, т. е. разрушение химической структуры (возможны механизмы разрушения и на надмолекулярном уровне), сопровождающееся потерей прочностных и упругопластических свойств у наиболее активного компонента, создает благоприятные условия для микробиологического разрушения [6, 20, 21, 22, 23]. Известно, что микроорганизмы наиболее быстро и эффективно развиваются на твердых углеводородах и медленнее – на жидких и газообразных [24, 25, 26]. Достаточно легко окисляются в присутствии микроорганизмов алканы



нормального строения, алкены и циклоалканы, медленные ароматические углеводороды с образованием различных окси- и кетокислот. Все указанные углеводороды в различных соотношениях входят в состав битумов. Кроме твердых углеводородов нефти, биологическому воздействию могут подвергаться неорганические компоненты асфальтобетона: гравий, щебень, песок, минеральный порошок, так как для развития микроорганизмов необходимо наличие не только углерода, но и минеральных солей, содержащих различные элементы.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что актуальными являются исследования, направленные на установление изменения упругопластических свойств асфальтобетонов под воздействием микроскопических организмов.

Для исследований рассматривались асфальтобетоны типа Г и Д – плотные и высокопористые асфальтобетонные смеси. Нами ранее были проведены исследования физико-механических свойств асфальтобетонов и выбраны оптимальные составы, которые использовались для определения упруго-деформативных свойств материала, после выдерживания в биологической среде мицелиальных грибов в течение 1, 3 и 6 месяцев. Испытания материалов проводились с использованием консистометра Гепплера [27]. Оценивалось изменение упругопластических характеристик асфальтобетонов после воздействия мицелиальных грибов по сравнению с контрольными образцами того же состава по показателю модуля деформации материала через 15 мин после приложения нагрузки Т15. Для проведения исследований рассматривали 22 состава (представлены в табл. 1).

Таблица 1

Содержание компонентов в асфальтобетонных смесях

Составляющие	Содержание составляющих в составах, масс, %							
	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3	Состав № 4	Состав № 5	Состав № 6	Состав № 7	Состав № 8
Природный песок	87	87	60	60	25	25	87	87
Отсев дробления	-	-	34	34	69	69	-	-
Минеральный порошок	13	13	6	6	6	6	-	-
Мука	-	-	-	-	-	-	13	13
Стеклобой	-	-	-	-	-	-	-	-
Битум БНД 60/90, сверх 100 %	12	8	10	6	6	10	8	12
ПБВ, сверх 100 %	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 1

Составляющие	Содержание составляющих в составах, масс, %							
	Состав № 9	Состав № 10	Состав № 11	Состав № 12	Состав № 13	Состав № 14	Состав № 15	Состав № 16
Природный песок	87	87	60	60	25	25	87	87
Отсев дробления	-	-	34	34	69	69	-	-
Минеральный порошок	13	13	6	6	6	6	-	-
Мука	-	-	-	-	-	-	-	-
Стеклобой	-	-	-	-	-	-	13	13
Битум БНД 60/90, сверх 100 %	-	-	-	-	-	-	8	12
ПБВ, сверх 100 %	8	12	10	6	6	10	-	-



Окончание табл. 1

Составляющие	Содержание составляющих в составах, масс, %					
	Состав № 17	Состав № 18	Состав № 19	Состав № 20	Состав № 21	Состав № 22
Природный песок	60	60	25	25	87	87
Отсев дробления	34	34	69	69	-	-
Минеральный порошок	-	-	-	-	13	13
Мука	-	-	-	-	-	-
Стеклобой	6	6	6	6	-	-
Битум БНД 60/90, сверх 100 %	10	6	6	10	8	12
ПБВ, сверх 100 %	-	-	-	-	-	-

Различное содержание нефтяного битума в составах было принято с целью определения влияния структуры асфальтобетона на изменение его свойств в процессе биокоррозии.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ изменения исследуемого свойства песчаных асфальтобетонов в биологической среде приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Модуль деформации асфальтобетонных составов
до и после экспонирования в биосреде**

Номер состава	Модуль деформации, МПа				Примечание
	Контрольный состав	Продолжительность выдерживания в биосреде, мес.			
		1 мес.	3 мес.	6 мес.	
1	0,66	0,18	0,58	1,69	Плотная асфальтобетонная смесь типа Г
8	0,6	0,24	0,32	0,14	
10	1,42	0,59	2,48	3,61	
16	1,16	1,34	0,59	1,85	
22	0,12	0,38	0,39	0,18	
7	0,15	0,27	2,26	0,82	Высокопористая песчаная асфальтобетонная смесь
9	0,01	0,05	0,24	0,01	
15	0,01	0,24	2,53	0,44	
21	0,34	0,89	0,48	0,2	
3	0,01	0,24	0,19	0,28	Плотная асфальтобетонная смесь типа Г
11	0,01	0,93	1,01	1,29	
17	4,93	0,95	5,83	9,2	
4	1,05	6,93	0,46	3,61	Высокопористая песчаная асфальтобетонная смесь
12	0,01	16,04	1,62	4,51	
18	0,01	0,06	65,74	3,98	
5	0,99	1,53	2,4	0,98	Высокопористая песчаная асфальтобетонная смесь
13	0,23	32,7	2,02	12,05	
19	0,01	18,6	2,97	130,62	
6	7,96	6,63	6,2	3,99	Плотная асфальтобетонная смесь типа Д
14	0,85	0,53	15,8	17,6	
20	4,78	36,08	1,4	24,75	

Результаты, представленные в табл. 2, позволяют выполнить программную оценку зависимости модуля деформации асфальтобетонных составов (смесей, образцов) в результате их экспонирования в биосреде.

В основу программного алгоритма положена схема моделирования, представленная на рис. 1.

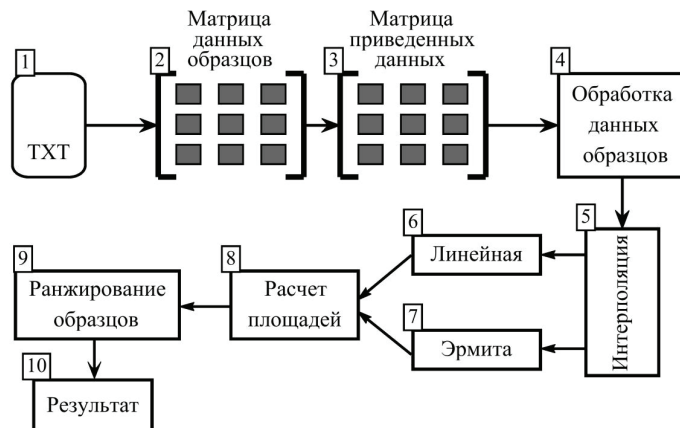


Рис. 1. Схема моделирования процесса оценки изменения модуля деформации

Условные обозначения (цифры в квадратах) означают следующие операции:

1 – файловая система с текстовыми файлами, содержащими числовые данные;
 2 – формирование матрицы числовых данных исследуемых образцов;
 3 – матрица приведения числовых данных к относительным единицам относительно числовых данных контрольных образцов;

4 – начальный этап обработки числовых данных исследуемых образцов для проведения интерполяции экспериментальных данных;

5 – операция интерполирования экспериментальных данных;

6 – линейная интерполяция с увеличением числа точек интерполирования в N раз (например, $N = 100$) относительно размера экспериментальных данных;

7 – кубическая интерполяция Эрмита с числом точек интерполирования, равных линейной интерполяции;

8 – расчет площадей (S_k, S_i) относительно длительности экспонирования ломаной фигуры при линейной интерполяции и гладкой кривой интерполяции Эрмита;

9 – ранжирование образцов на основе абсолютной разницы площади прямоугольника S и наибольшей площади из S_k, S_i , отнесенных к базовой площади S . Чем меньше найденная относительная величина (метрика), тем более устойчивым будет модуль деформации в результате тестовых испытаний в биосреде;

10 – результат S ранжирования с указанием номера образца и его числовой метрики.

Геометрическая интерпретация приведенных значений экспериментальных данных с указанием базовой площади S показана на рис. 2.

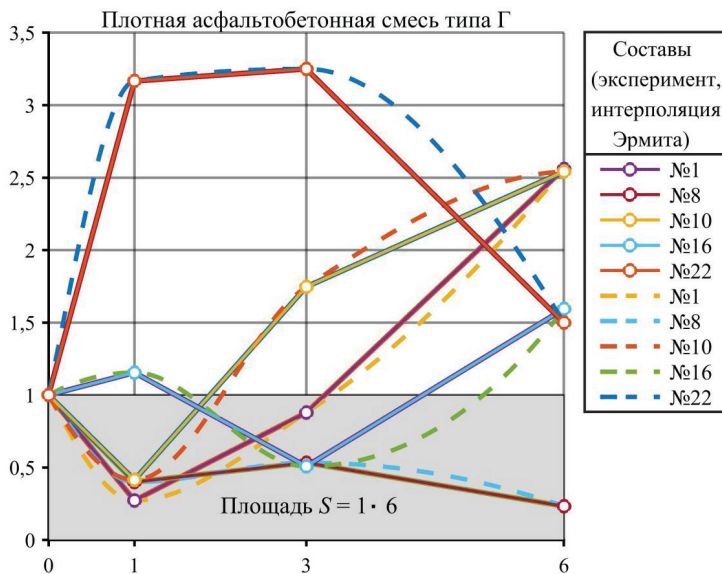


Рис. 2. Пример приведения данных и определение базовой площади S

На рис. 2 кривые данных эксперимента совпадают с их линейной интерполяцией. Задача заключается в программном определении минимальной абсолютной разницы между значением базовой площади S и площадью либо Sk (образованной кривой линейной интерполяции), либо Si (гладкой кривой кубической интерполяцией Эрмита).

Имея нумерацию составов и их числовые данные модуля деформации, в соответствии с табл. 2 и пояснениями на рис. 1, 2 была создана программа, которая в автоматизированном режиме позволила произвести ранжирование исследуемых составов.

Результат приведен в табл. 3, использованы следующие обозначения смесей: смесь 1 – плотная асфальтобетонная смесь типа Г; смесь 2 – высокопористая песчаная асфальтобетонная смесь; смесь 3 – плотная асфальтобетонная смесь типа Д.

Таблица 3

Результаты ранжирования образцов по введенной метрике

Образцы	Метрика, отн. ед.	Тип смеси
1.	№ 16	Смесь 1
2.	№ 1	Смесь 1
3.	№ 17	Смесь 1
4.	№ 6	Смесь 3
5.	№ 21	Смесь 2
6.	№ 8	Смесь 1
7.	№ 10	Смесь 1
8.	№ 5	Смесь 2
9.	№ 4	Смесь 2
10.	№ 22	Смесь 1
11.	№ 20	Смесь 3



Окончание табл. 3

Образцы	Метрика, отн. ед.	Тип смеси
12.	№ 7	Смесь 2
13.	№ 9	Смесь 2
14.	№ 14	Смесь 3
15.	№ 3	Смесь 1
16.	№ 13	Смесь 2
17.	№ 11	Смесь 1
18.	№ 15	Смесь 2
19.	№ 12	Смесь 2
20.	№ 18	Смесь 2
21.	№ 19	Смесь 2

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании долговечности асфальтобетонов, эксплуатирующихся в условиях воздействия микробиологических агрессивных сред.

Выводы:

1. Анализ литературных источников показал, что в процессе эксплуатации в асфальтобетонных покрытиях появляется значительное количество дефектов в виде разрушений и деформаций. Покрытия автомобильных дорог в процессе эксплуатации находятся под воздействием главным образом двух групп факторов: 1) механических; 2) температурно-влажностных и химико-биологических.

2. Температурно-влажностные и химико-биологические среды вызывают старение материалов и способствуют снижению способности воспринимать усталостные напряжения от действующих нагрузок. При этом показано, что материал, обладающий достаточной прочностью, преждевременно разрушается вследствие недостаточной деформационной устойчивости. Достаточно часто изменение деформативных свойств асфальтобетонов происходит в результате их старения под воздействием микробиологических сред и в частности мицелиальных грибов.

3. В настоящей работе приведены исследования изменения деформативных свойств асфальтобетонов различного типа в стандартной среде мицелиальных грибов, при этом в качестве объектов исследования рассматривались песчаные асфальтобетоны различной плотной и высокоплотной структуры.

4. Разработана схема моделирования процесса оценки изменения модуля деформации асфальтобетонов. На основе эмпирических аналитических расчетов получены результаты ранжирования образцов по введенной метрике. Главный результат состоит в определении наиболее предпочтительного образца, который наиболее устойчив к изменению модуля упругости во время заданных испытаний в течение 6 месяцев в биосреде.

5. Ранжирование образцов, приведенное в табл. 3, дало возможность альтернативного выбора образцов в случае финансовых ограничений на приобретение тех или иных образцов из имеющихся асфальтобетонных смесей.

6. На рис. 2 виден определенный эмпирический вывод о выборе наилучшего образца по меньшему изменению модуля деформации во время проведенного экспонирования. В частности, образец № 8 наиболее подвержен изменению модуля деформации за время проведенных испытаний в биосреде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прогнозирование регионов биоповреждений строительных материалов / Е. Н. Каблов,



В. Т. Ерофеев, А. А. Ямашкин [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 4 (52). – С. 158–166.

2. Ерофеев, В. Т. Биодеструктивные процессы в эколого-социально-производственных системах жилой застройки / В. Т. Ерофеев, А. А. Ямашкин, В. Ф. Смирнов // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – № 2 (46). – С. 116–123.

3. Исследование свойств бетона железобетонных конструкций сооружений, эксплуатируемых в прибрежной зоне черноморского побережья / В. Т. Ерофеев, Е. Ф. Ельчищева, А. И. Родин [и др.]. – Текст : непосредственный // Транспортные сооружения. – 2018. – Том 5, № 2. – С. 5.

4. Климатические испытания строительных материалов : монография / О. А. Аммосова, Ф. И. Бабенко, А. Н. Блазнов [и др.] ; под общей редакцией доктора технических наук О. В. Старцева [и др.]. – Москва : АСВ, 2017. – 556 с., [14] л. цв. ил. : ил., табл. – ISBN 978-5-4323-0240-3. – Текст : непосредственный.

5. Нанотехнологии в производстве асфальтобетона / В. М. Готовцев, А. Г. Шатунов, А. Н. Румянцев [и др.]. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1. – С. 191–195.

6. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность) / В. Т. Ерофеев, Ю. М. Баженов, Ю. И. Калгин ; Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева. – Саранск, 2009. – 273 с. – ISBN 978-5-7103-2184-3. – Текст : непосредственный.

7. Лаврухин, В. П. Физико-механические свойства и усталостная долговечность асфальтобетонов на модифицированных битумах / В. П. Лаврухин, Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев. – Текст : непосредственный // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2003. – № 6. – С. 89–98.

8. Баничук, Н. Б. Оптимизация элементов конструкций из композиционных материалов / Н. Б. Баничук, В. В. Кобелев, Р. Б. Рикардс. – Москва : Машиностроение, 1988. – 224 с. – Текст : непосредственный.

9. Портон, В. С. Механика упругопластического разрушения / В. С. Портон, Е. М. Морозов. – Москва : Наука, 1974. – 416 с. – Текст : непосредственный.

10. Ерофеев, В. Т. Исследование реологических свойств модифицированного битума / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2016. – № 8. – С. 48–63.

11. Гаврилов, М. А. Пластично-вязкие свойства модифицированных эпоксидных композитов / М. А. Гаврилов, В. Т. Ерофеев, В. А. Худяков. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 3 (32). – С. 5–10.

12. Калгин, Ю. И. Разработка и исследование литого асфальтобетона на битумно-каучуковом вяжущем / Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2007. – № 1. – С. 60–63.

13. Лаврухин, В. П. Усталостная долговечность асфальтобетонов на модифицированных битумах / В. П. Лаврухин, Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев. – Текст : непосредственный // Вестник Мордовского университета. – 2001. – № 3–4. – С. 128–135.

14. Рыбьев, И. А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты) : учебное пособие для вузов / И. А. Рыбьев. – Москва : Высшая школа, 1978. – 309 с. – Текст : непосредственный.

15. Исследование долговечности битумных композитов в условиях переменной влажности, ультрафиолетового облучения и морской воды / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова, Е. Н. Каблов Е. Н. [и др.]. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–12. – С. 2549–2556.

16. Баженов, Ю. М., Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы / Ю. М. Баженов, Е. М. Чернышов, Д. Н. Коротких. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2014. – № 3. –



С. 5–14.

17. Технология получения структурированного асфальтобетона / В. М. Готовцев, А. Г. Шатунов, А. Н. Румянцев [и др.]. – Текст : непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 9-4. – С. 899–903.

18. Безухов, Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н. И. Безухов. – Москва : Высшая школа, 1968. – 512 с. – Текст : непосредственный.

19. Ерофеев, В. Т. Методы обработки экспериментальных данных : учеб. пособие / В. Т. Ерофеев, И. Н. Максимова, В. В. Афонин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2019. – 140 с. – Текст : непосредственный.

20. Мардиросова, И. В. Модифицированное асфальтовое вяжущее повышенной стойкости к старению / И. В. Мардиросова, Н. Х. Чан, О. А. Балабанов. – Текст : непосредственный // *Известия вузов. Строительство*. – 2011. – № 4. – С. 15–19.

21. Чан, Н. Х. Комплексно-модифицированный асфальтобетон повышенной стойкости к воздействиям жаркого и влажного климата / Н. Х. Чан, И. В. Мардиросова, О. А. Балабанов. – Текст : непосредственный // *Известия вузов. Строительство*. – 2011. – № 7. – С. 54–61.

22. Ерофеев, В. Т. Оценка долговечности асфальтобетонов при испытаниях в климатических условиях с переменной влажностью, ультрафиолетовым облучением и агрессивной морской водой / В. Т. Ерофеев, М. А. Ликомаскина. – Текст : непосредственный // *Вестник МГСУ*. – 2016. – № 6. – С. 63–79.

23. Исследование биостойкости модифицированных асфальтобетонов и изучение видового состава микобиоты поверхности образцов, экспонированных в различных условиях влажного морского климата / В. Т. Ерофеев, М. А. Ликомаскина, В. Ф. Смирнов [и др.]. – Текст : непосредственный // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2016. – № 9 (693). – С. 25–40.

24. Ерофеев, В. Т. Исследование механизмов повреждения битумных композитов в условиях воздействия биологических агрессивных сред / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, С. П. Пронькин. – Текст : непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2–13. – С. 2787–2800.

25. Исследование стойкости битумных композитов в климатических условиях черноморского побережья и в морской воде / В. Т. Ерофеев, Ю. И. Калгин, А. В. Мартынов [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2–16. – С. 3493–3502.

26. Микробиологическая стойкость строительных материалов / А. В. Дергунова, Д. А. Светлов, В. Т. Ерофеев [и др.]. – Текст : непосредственный // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород, 2009. – № 2 (10). – С. 108–113.

27. Методика определения физико-механических свойств полимерных композитов путем внедрения конусообразного индентора / НИИ Госстроя Эстонской ССР. – Таллин, 1983. – 28 с. – Текст : непосредственный.

EROFEEV Vladimir Trofimovich^{1,2} academician of the RAACS, doctor of biological science, professor of the department of microbiology and plant physiology, professor, head of the department of building materials and technologies; LIKOMASKINA Maya Alekseevna¹, postgraduate student of the chair of building materials and technologies of the department of architecture and civil engineering; AFONIN Viktor Vasilevich¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of automated information processing systems and management; ARKHIPOVA Anzhelika Igorevna¹, candidate of technical sciences, head of intellectual property department

STUDY OF THE IMPACT OF EXPOSURE TO MYCELIAL FUNGI ON THE DEFORMATION MODULUS OF SANDY ASPHALT CONCRETE



¹National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev
68, Bolshevistskaya St., Saransk, 430005, Russia. Tel.: +7 (987) 692-67-24;
e-mail: chakichevama@list.ru

²National Research Nizhny Novgorod State University named after N. I. Lobachevsky
23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603022, Russia. Tel.: (831) 462-30-03

Key words: asphalt concrete, deformation modulus, durability, biological environment, filamentous fungi, linear interpolation, Ermita.

During operation, a significant number of defects appear in asphalt concrete pavements in the form of destruction and deformation. To increase the durability of asphalt concrete and increase the time between repairs, first of all, it is necessary to ensure its resistance to cracking, especially in the autumn-winter-spring period, to increase its resistance to shear loads in the summer period, and to increase its fatigue life. In this regard, the results of studies aimed at establishing indicators characterizing changes in the properties of asphalt concrete under the influence of operational factors have scientific and practical value. In this work, the modulus of deformation and its change under the influence of a microbiological factor, namely, filamentous fungi, were considered as a property under study. After testing in a standard medium of filamentous fungi, quantitative dependences of the resistance of asphalt concrete of various types were established.

REFERENCES

1. Kablov E. N., Erofeev V. T., Yamashkin A. A. [et al.]. Prognozirovanie regionov biopovrezhdeniy stroitelnykh materialov [Forecasting regions of biodamage of building materials]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019, № 4 (52). P. 158–166.

2. Erofeev V. T., Yamashkin, A. A., Smirnov V. F. Biodestruktivnyye protsessy v ekologo-sotsialno-proizvodstvennykh sistemakh zhiloy zastroyki [Biodestructive processes in ecological-social and production systems of housing construction]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2018, № 2 (46). P. 116–123.

3. Erofeev V. T., Elchischeva E. F., Rodin A. I. [et al.]. Issledovanie svoystv betona zhelezobetonnykh konstruktsiy sooruzheniy, ekspluatiruemykh v pribrezhnoy zone chernomorskogo poberezhya [Research of properties of concrete of reinforced concrete structures of constructions operated in the Black Sea coastal zone]. Transportnye sooruzheniya [Transport facilities]. 2018, Vol. 5, № 2. P. 5.

4. Ammosova O. A., Babenko F. I., Blaznov A. N. [et al.]. Klimaticheskie ispytaniya stroitelnykh materialov [Climatic testing of building materials] / pod obschey red. doktora tekhn. nauk O.V. Startseva. Moscow, ASB, 2017. 556 p. [14] l. tsv. il. : il., tabl. – ISBN 978-5-4323-0240-3.

5. Gotovtsev V. M., Shatunov A. G., Rummyantsev A. N. Нанотехнологии в производстве асфальтобетона [Nanotechnologies in the production of asphalt concrete]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental Research]. 2013, № 1. P. 191–195.

6. Erofeev V. T., Bazhenov Yu. M., Kalgin Yu. I. Dorozhnye bitumomineralnye materialy na osnove modifitsirovannykh bitumov (tekhnologiya, svoystva, dolgovechnost) [Road bitumen-mineral materials based on modified bitumen (technology, properties, durability)]. Mordovskiy gosudarstvenny universitet im. N.P. Ogareva. – Saransk, 2009. – 273 p. – ISBN 978-5-7103-2184-3.

7. Lavrukhin V. P., Kalgin Yu. I., Erofeev V. T. Fiziko-mekhanicheskie svoystva i ustalostnaya dolgovechnost asfaltobetonov na modifitsirovannykh bitumakh [Physical and mechanical properties and fatigue life of asphalt concrete on modified bitumens]. Vestnik Volzhskogo regionalnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitelnykh nauk [Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. Nizhny Novgorod, 2003, № 6. P. 89–98.

8. Banichuk N. B., Kobelev V. V., Rickards R. B. Optimizatsiya elementov konstruktsiy iz kompozitsionnykh materialov [Optimization of structural elements of composite materials].



Moscow, Mashinostroenie, 1988, 224 p.

9. Porton V. S., Morozov E. M. Mekhanika uprugo-plasticheskogo razrusheniya [Mechanics of elastic-plastic fracture]. Moscow, Nauka, 1974, 416 p.

10. Erofeev V. T., Salnikova A. I. Issledovanie reologicheskikh svoystv modifitsirovannogo bituma [Study of the rheological properties of modified bitumen]. Vestnik MGSU. 2016, № 8. P. 48–63.

11. Gavrilov M. A., Erofeev V. T., Khudyakov V. A. Plastichno-vyazkie svoystva modifitsirovannykh epoksidnykh kompozitov [Plastic-viscous properties of modified epoxy composites]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2017, № 3 (32). P. 5–10.

12. Kalgin Yu. I., Erofeev V. T. Razrabotka i issledovanie litogo asfaltobetona na bitumno-kauchukovom vyazhushchem [Development and research of cast asphalt concrete on bitumen-rubber binder]. Stroitelnye materialy [Construction materials]. 2007, № 1. P. 60–63.

13. Lavrukhin V. P., Kalgin Yu. I., Erofeev V. T. Ustalostnaya dolgovechnost asfaltobetonov na modifitsirovannykh bitumakh [Fatigue life of asphalt concrete on modified bitumens]. Vestnik Mordovskogo universiteta [Bulletin of the Mordovian University]. 2001, № 3-4. P. 128–135.

14. Rybev I. A. Stroitelnye materialy na osnove vyazhuschikh veschestv (iskusstvennye stroitelnye konglomeraty) [Building materials based on binders (artificial building conglomerates): ucheb. posobie dlya vuzov. Moscow, Vysshaya shkola, 1978, 309 p.

15. Erofeev V. T., Salnikova A. I., Kablov E. N. [et al.]. Issledovanie dolgovechnosti bitumnykh kompozitov v usloviyakh peremennoy vlazhnosti, ultrafioletovogo oblucheniya i morskoy vody [Study of the durability of bituminous composites under conditions of variable humidity, ultraviolet irradiation and sea water]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental research]. 2014, № 12–12. P. 2549–2556.

16. Bazhenov Yu. M., Chernyshov E. M., Korotkikh D. N. Konstruirovaniye struktur sovremennykh betonov: opredelyayushchie printsipy i tekhnologicheskie platformy [Designing the structures of modern concrete: defining principles and technological platforms]. Stroitelnye materialy [Construction materials]. 2014, № 3. P. 5–14.

17. Gotovtsev V. M., Shatunov A. G., Rumyantsev A. N. [et al.]. Tekhnologiya polucheniya strukturirovannogo asfaltobetona [Technology for the production of structured asphalt concrete]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental Research]. 2012, № 9–4. P. 899–903.

18. Bezukhov N. I. Osnovy teorii uprugosti, plastichnosti i polzuchesti [Fundamentals of the theory of elasticity, plasticity and creep]. Moscow, Vysshaya shkola, 1968, 512 p.

19. Erofeev V. T., Maksimova I. N., Afonin V. V. Metody obrabotki eksperimentalnykh dannykh [Methods for processing experimental data]: ucheb. posobie. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2019, 140 p.

20. Mardirosova I. V., Chan N. Kh., Balabanov O. A. Modifitsirovannoe asfaltovoe vyazhushchee povyshennoy stoykosti k stareniyu [Modified asphalt binder with increased resistance to aging]. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo [News of higher educational institutions. Construction]. 2011, № 4. P. 15–19.

21. Chan N. Kh., Mardirosova I. V., Balabanov O. A. Kompleksno-modifitsirovanny asfaltobeton povyshennoy stoykosti k vozdeystviyam zharkogo i vlazhnogo klimata [Complex-modified asphalt concrete of increased resistance to hot and humid climates]. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo [News of higher educational institutions. Construction]. 2011, № 7. P. 54–61.

22. Erofeev V. T., Likomaskina M. A. Otsenka dolgovechnosti asfaltobetonov pri ispytaniyakh v klimaticheskikh usloviyakh s peremennoy vlazhnostyu, ultrafioletovym oblucheniem i agressivnoy morskoy vodoy [Evaluation of the durability of asphalt concrete during testing in climatic conditions with variable humidity, ultraviolet irradiation and aggressive sea water]. Vestnik MGSU. 2016, № 6. P. 63–79.

23. Erofeev V. T., Likomaskina M. A., Smirnov V. F. [et al.]. Issledovanie biostoykosti modifitsirovannykh asfalto-betonov i izuchenie vidovogo sostava mikrobioty poverkhnosti obraztsov, eksponirovannykh v razlichnykh usloviyakh vlazhnogo morskogo klimata [Study of the biostability of modified asphalt concretes and the study of the species composition of the surface mycobiota of samples exposed under various conditions of a humid maritime climate].



Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo [News of higher educational institutions. Construction]. 2016, № 9 (693). P. 25–40.

24. Erofeev V. T., Bogatov A. D., Pronkin S. P. Issledovanie mekhanizmov povrezhdeniya bitumnykh kompozitov v usloviyakh vozdeystviya biologicheskikh agressivnykh sred [Investigation of the mechanisms of damage to bituminous composites under the influence of biological aggressive media]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental Research]. 2015, № 2-13. P. 2787–2800.

25. Erofeev V. T., Kalgin Yu. I., Martynov A. V. [et al.]. Issledovanie stoykosti bitumnykh kompozitov v klimaticheskikh usloviyakh chernomorskogo poberezhya i v morskoy vode [Study of the resistance of bituminous composites in the climatic conditions of the Black Sea coast and in sea water]. Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental Research]. 2015, № 2–16. P. 3493–3502.

26. Dergunova A. V., Svetlov D. A., Erofeev V. T. [et al.]. Mikrobiologicheskaya stoykost stroitelnykh materialov [Microbiological stability of building materials]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2009, № 2 (10). P. 108–113.

27. Metodika opredeleniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv polimernykh kompozitov putyom vnedreniya konusoobraznogo indentora [Method for determining the physical and mechanical properties of polymer composites by introducing a cone-shaped indenter] // NII Gosstroya Estonskoy SSR. Tallinn: 1983, 28 p.

© В. Т. Ерофеев, М. А. Ликомаскина, В. В. Афонин, А. И. Архипова, 2022

Получено: 28.06.2022 г.