

УДК 66-963

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО КОМПОЗИЦИОННОЙ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРЫ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ВОЛОКНА С РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ И ДЛИНОЙ НАРЕЗКИ

Андронов С.Ю.

*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Саратов,
e-mail: vdt_sstu@mail.ru*

Способом повышения устойчивости асфальтобетона к внешним нагрузкам является введение в его состав волокон и нитей. Проведены эксперименты по введению полиакрилонитрильной фибры с различной плотностью и длиной нарезки в состав композиционной дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси, выполнены лабораторные испытания образцов асфальтобетонов, установлены оптимальные плотность и длина нарезки полиакрилонитрильной фибры для введения в асфальтобетонные смеси. Выполненные исследования позволили установить эффективность способа введения предварительно приготовленной смеси полиакрилонитрильной фибры с минеральным порошком в смесь компонентов асфальтобетонной смеси для улучшения показателей физико-механических свойств асфальтобетона в покрытиях автомобильных дорог. Способом повышения устойчивости асфальтобетона к внешним нагрузкам является введение в его состав волокон и нитей. Введение в смесь длинных (протяженных) элементов – нитей, волокон или проволоки, при удовлетворении и постоянстве качественных показателей, а также удобства ее использования, в настоящее время является неразрешимой проблемой. Введение в смесь небольших по размеру (дискретных) элементов позволяет добиться их равномерного распределения (дисперсии) в смеси, и получить «композитный» материал с более высокими физико-механическими показателями в готовом конструктивном элементе. В ходе работы были подобраны оптимальные составы композиционных дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей и определено влияние на их свойства способа введения в смесь фибры с различной плотностью и длиной нарезки, проведены эксперименты по отработке режимов приготовления и введения фибры в состав композиционных смесей. Выполненные исследования позволили установить эффективность способа введения предварительно приготовленной смеси полиакрилонитрильной фибры с минеральным порошком в смесь компонентов асфальтобетонной смеси для улучшения показателей физико-механических свойств асфальтобетона в покрытиях автомобильных дорог.

Ключевые слова: технология производства композиционного материала, полиакрилонитрильная фибра, плотность полиакрилонитрильной фибры, длина нарезки полиакрилонитрильной фибры, лабораторные испытания образцов асфальтобетонов, введение полиакрилонитрильной фибры в асфальтобетонную смесь

IMPACT ON THE QUALITY OF COMPOSITE FIBROUS APHALT MIXTURES APPLICATIONS FIBRO FROM THE SPECIAL POLYACRYLONITRILE FIBER WITH DIFFERENT DENSITIES AND LONG CUTTING

Andronov S.Yu.

Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, Saratov, e-mail: vdt_sstu@mail.ru

A method of increasing the stability of asphalt concrete to external loads is an introduction to his The experiments on the introduction of polyacrylonitrile fibers with different densities and a long cut in the composite dispersion-reinforced asphalt mixture, performed laboratory testing of optimal density and length cutting polyacrylonitrile fiber, installed asphalt samples for the introduction of asphalt mixture. The studies have established the effectiveness of the method of administration premix polyacrylonitrile fiber with a mineral powder in the mixture of components for improving the bituminous mixture physico-mechanical properties of the coatings of asphaltic concrete road. A method of increasing the stability of asphalt concrete to external loads is the introduction into its structure of fibers and yarns. Introduction to the mixture of long (extended) elements – yarns, fibers or wires, with satisfaction and constancy of quality indicators, as well as ease of use, now is an insoluble problem. Introduction into a mixture of small size (discrete) components allows achieving their uniform distribution (dispersion) in the mixture and obtain a «composite» material having a high physical and mechanical properties in the finished structural member. During the experimental formulations were selected composite dispersion-reinforced asphalt mixtures and determined the impact on their property in the way of the introduction of a mixture of fibers of different densities and cutting length, performed experiments to simulate cooking modes and the introduction of fiber in the composite mixture. The studies have established the effectiveness of the method of administration premix polyacrylonitrile fiber with a mineral powder in the mixture of components to improve the asphalt mixture physico-mechanical properties of the coatings of asphaltic concrete road.

Keywords: technology of production of the composite material, polyacrylonitrile fiber, polyacrylonitrile fiber density, cutting the length of polyacrylonitrile fiber, laboratory testing asphalt samples, the introduction of polyacrylonitrile fibers in the asphalt mix

В транспортном строительстве повсеместно применяется асфальтобетон, который подвержен трещинообразованию, шелушению, выкрашиванию, образованию

колеи, волн и впадин. Способом повышения устойчивости асфальтобетона к внешним нагрузкам является введение в его состав волокон и нитей. Введение в асфальтобе-

тонную смесь небольших по размеру (дискретных) элементов позволяет добиться их равномерного распределения (дисперсии) в смеси и получить «композитный» материал с более высокими физико-механическими показателями в готовом конструктивном элементе [1].

В России действуют методические рекомендации по армированию асфальтобетонных покрытий базальтовыми волокнами (фиброй) [2], но по причине отсутствия технологии и опыта введения фибры в состав смеси широкого применения в асфальтобетонных смесях базальтовая фибра не получила. Отсутствует также опыт изготовления асфальтобетонных смесей с добавками фибры на серийно выпускаемых смесителях асфальтобетонных заводов.

Разработана последовательность изготовления дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси ДААБ(С) с фибры из специального ПАН волокна ФСПАНВ с различной плотностью и длиной нарезки, а также контрольных образцов из этих смесей. Контрольные образцы испытывались по ГОСТ 12801 [2] по показателям: средняя плотность уплотненного материала из смеси, водонасыщение для смесей, набухание для смесей, предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов при температуре 20 °С, предел прочности образцов при сжатии при температуре 20 °С, предел прочности при сжатии при температуре 0 °С, предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, водостойкость, водостойкость при длительном водонасыщении, сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин.

Помимо этого определялись показатели, характеризующие способность материала в уплотненном состоянии сопротивляться образованию колеи:

– средняя скорость образования колеи в слое при температуре 50 °С от движущегося колеса с давлением 0,6 МПа;

– средняя скорость образования колеи в слое при температуре 50 °С от движущегося колеса с давлением 0,6 МПа, после стабилизации.

На одном из составов для контроля содержания вяжущего и ФСПАНВ использовался метод экстрагирования.

По результатам испытаний ДААБ(С), изготовленных с использованием ФСПАНВ

с различной плотностью и длиной нарезки, можно сделать выводы, что введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к улучшению показателя средней скорости образования колеи, при нагрузке 0,6 МПа и температуре 50 °С после стабилизации. В смесях с ФСПАНВ в среднем показатель улучшается на 18% и составляет 1,49 мм/100000 проходов, (у смеси без ФСПАНВ 1,82 мм/100000 проходов). Наилучшие средние значения у ФСПАНВ с длиной нарезки 12 мм (в среднем 1,14 мм/100000 проходов). Наихудшие средние у ФСПАНВ с длиной нарезки 28 мм (1,82 мм/100000 проходов), что хуже, чем у смеси без ФСПАНВ. Наихудшее значение у ФСПАНВ плотностью 0,77 текс с длиной нарезки 18 мм – 2,95 мм/100000 проходов. Наилучшее у ФСПАНВ плотностью 0,77 текс с длиной нарезки 6 мм и 0,56 текс с длиной нарезки 18 мм – 0,45 мм/100000 проходов. Прямой зависимости изменения показателя от плотности и длины нарезки фибры не наблюдается. Результаты разнородные, но лучшие, по сравнению со смесью без ФСПАНВ, при длине нарезки 6 и 12 мм. При длине нарезки ФСПАНВ 18 и 28 мм результаты хуже смеси без ФСПАНВ составляют около 60%.

Определение содержания вяжущего и ФСПАНВ в составе ДААБ(С)

Для контроля содержания вяжущего, а также состояния и содержания ФСПАНВ в ДААБ(С) было проведено испытание методом экстрагирования и рассевом полученной минеральной части без вяжущего по ГОСТ 12801 [2] на смеси состава № 19. Для испытаний была взята смесь, которая прошла стадии приготовления, уплотнения (образец для испытаний на колееобразование) и испытания в установке колееобразования. Фото образцов после испытаний приведены на рисунке (а–г). Результаты испытаний приведены в приложении 5 (для состава № 19). Отклонения фактического содержания ФСПАНВ и вяжущего от рецепта составляют 0,03% (для ФСПАНВ) и 0,5% (для вяжущего). То есть при приготовлении удалось добиться необходимых пропорций в соответствии с рецептом. Нити ФСПАНВ цельные. Исходная плотность ФСПАНВ 0,77 текс и длина нарезки 12 мм. По результатам измерений длин нитей ФСПАНВ, выделенных из готовой ДААБ(С) после экстрагирования, нитей с исходной длиной нарезки (12 мм) около 70–80%, то есть существенного изменения длины нити не происходит.

По итогам испытаний ДААБ(С), изготовленных с использованием ФСПАНВ с различной плотностью и длиной нарез-

ки, можно сделать выводы, что введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к улучшению показателя сдвигоустойчивости по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С. Хотя для каркасных смесей, таких как смеси типа А (содержание щебня 50÷60%) и ЩМА (щебня 65%), этот показатель ниже на 20–40%, чем в смесях типа Б (содержание щебня 40–50%). В смесях с ФСПАНВ в среднем показатель улучшается на 4,7% и составляет 0,46 (у смеси без ФСПАНВ 0,44). Наилучшие значения у ФСПАНВ с длиной нарезки 18 и 28 мм (в среднем 0,47). Очевидно, положительную роль сыграла длина фибры, и ее более интенсивное

переплетение с каркасными зернами смеси. Наихудшие средние у ФСПАНВ с длиной нарезки 12 мм (0,43), что хуже, чем у смеси без ФСПАНВ, при этом при плотности ФСПАНВ 0,56 текс и 0,68 текс сцепление при сдвиге при температуре 50 °С составляет 0,51 и 0,54 соответственно. Наихудшее значение у ФСПАНВ плотностью 0,77 текс с длиной нарезки 12 мм. Наилучшее у ФСПАНВ плотностью 0,77 текс с длиной нарезки 6 мм. То есть результаты весьма разнородные. В среднем наблюдается зависимость улучшения сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения с увеличением плотности и длины нарезки фибры.



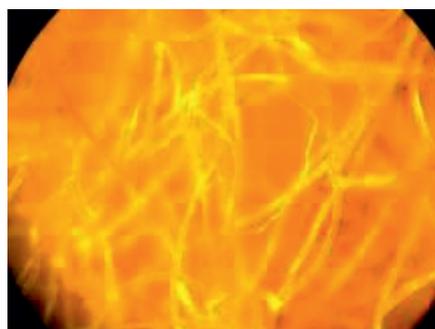
а)



б)



в)



г)

Фото образцов после испытаний по определению содержания вяжущего и ФСПАНВ в ДААБ(С): а) патрон с минеральной частью ДААБ(С) после экстрагирования; б) раскрытый патрон; в) компоненты минеральной части ДААБ(С) после экстрагирования и отсева; г) ФСПАНВ плотностью 0,77 текс с длиной нарезки 12 мм после экстрагирования, с 8-кратным увеличением

**Выводы по влиянию
на свойства ДААБ(С) плотности
и длины нарезки ФСПАНВ**

По результатам испытаний ДААБ(С), изготовленных с использованием ФСПАНВ различной плотности и длины нарезки, можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к незначительному увеличению средней плотности слоя (в среднем на 0,7%), то есть для получения слоя заданной плотности и толщины потребуется большее количество ДААБ(С), в сравнении с обычным АБ(С). Это же в свою очередь означает, что при одинаковой работе на уплотнение ДААБ(С) уплотняется лучше, и в производственных условиях может потребоваться меньшее количество проходов катка для достижения необходимой плотности слоя. Стабильные результаты получены для смесей с ФСПАНВ при длине нарезки 6, 12 и 18 мм. Прямой зависимости средней плотности от длины нарезки и плотности ФСПАНВ не выявлено.

2. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к уменьшению водонасыщения (в среднем на 20%), что связано с лучшей уплотняемостью. На показатель влияет равномерность распределения ФСПАНВ в смеси. Увеличение водонасыщения свидетельствует о наличии в смеси сгустков (комьев) ФСПАНВ. Стабильные результаты у ФСПАНВ с плотностью 0,17, 0,33, 0,56 текс с длиной нарезки 6, 12, 18 мм. Наблюдается снижение водонасыщения с увеличением плотности ФСПАНВ. Прямой зависимости изменения водонасыщения от длины нарезки не выявлено.

3. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к незначительному увеличению набухания. Относительно стабильные результаты получены у ФСПАНВ с длиной нарезки 12 мм. Прямой зависимости набухания от длины нарезки и плотности ФСПАНВ не наблюдается.

4. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к увеличению и улучшению прочности при 20°C сухих (в среднем на 36%), водонасыщенных (в среднем на 32%) и длительно водонасыщенных образцов (в среднем на 37%). Наблюдается некоторая зависимость увеличения прочности при 20°C с увеличением плотности ФСПАНВ. Прямой зависимости от длины нарезки ФСПАНВ не наблюдается. В среднем наилучшие результаты получены при длине нарезки 12 мм.

5. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к понижению (в среднем на 16%)

и улучшению прочности при 0°C, то есть смесь становится более стабильной (менее хрупкой) по отношению к смеси без ФСПАНВ. Наблюдается зависимость увеличения прочности при 0°C с увеличением плотности ФСПАНВ. Прямой зависимости изменения прочности при 0°C от длины нарезки ФСПАНВ не выявлено.

6. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к увеличению (в среднем на 20%) и улучшению прочности при 50°C. Стабильно высокие показатели при использовании ФСПАНВ с плотностью 0,56 и 0,68 текс с длиной нарезки 12 мм. Наблюдается зависимость увеличения прочности при 50°C с увеличением плотности фибры. Прямой зависимости изменения прочности при 50°C от длины нарезки не наблюдается.

7. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к ухудшению (в среднем на 3%) «коэффициента» водостойкости. При этом прочность водонасыщенных образцов все равно остается выше на 32% по отношению к смеси без ФСПАНВ. Наблюдается зависимость улучшения водостойкости с уменьшением плотности и длины нарезки ФСПАНВ.

8. Введение ФСПАНВ в состав смеси по-разному влияет на водостойкость при длительном водонасыщении. Так наилучший показатель у ФСПАНВ 0,56 текс с длиной нарезки 12 мм (0,92, в то время как у смеси без ФСПАНВ 0,76). Этот же показатель, при плотности фибры 0,17 текс и длине нарезки 6 мм хуже, чем у смеси без ФСПАНВ. При этом прочность длительно водонасыщенных образцов все равно остается выше на 37%, чем на образцах из смеси без ФСПАНВ. В целом лучшие результаты показал ФСПАНВ с плотностью 0,56 текс. Прямой зависимости изменения водостойкости при длительном водонасыщении от плотности и длины нарезки не наблюдается.

9. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к улучшению (в среднем на 2,2%) сдвигустойчивости по коэффициенту внутреннего трения. Наилучшие значения у ФСПАНВ с длиной нарезки 28 мм (в среднем улучшение на 6%). Очевидно, положительную роль сыграла длина нарезки ФСПАНВ, и как следствие, более интенсивное переплетение с каркасными зернами смеси. Наблюдается зависимость улучшения сдвигустойчивости по коэффициенту внутреннего трения с уменьшением плотности и увеличением длины нарезки ФСПАНВ.

10. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к улучшению (в среднем на 4,7%) сдвигустойчивости по сцеплению при

сдвиге при температуре 50 °С. Наилучшие значения у ФСПАНВ с длиной нарезки 18 и 28 мм (улучшение в среднем на 6,8%). Очевидно, положительную роль сыграла длина нарезки ФСПАНВ и ее более интенсивное переплетение с каркасными зернами смеси. В среднем наблюдается зависимость улучшения сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения с увеличением плотности и длины нарезки ФСПАНВ.

11. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к уменьшению (в среднем на 15%) трещиностойкости. Смеси с ФСПАНВ по этому показателю близки к каркасным смесям, таким как смеси ЦМА (содержание щебня 65%), для которых требования по этому показателю снижены до 2–3 МПа. Наилучшие значения у ФСПАНВ с длиной нарезки 12 мм (в среднем падение на 10%). Наихудшее значение у ФСПАНВ плотностью 0,77 текс с длиной нарезки 6 мм (в среднем падение на 28%). Прямой зависимости изменения трещиностойкости от плотности и длины нарезки ФСПАНВ не наблюдается.

12. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к улучшению (в среднем на 10%) средней скорости образования колеи, при нагрузке 0,6 МПа и температуре 50 °С. Прямой зависимости изменения средней скорости образования колеи, при нагрузке 0,6 МПа и температуре 50 °С от плотности и длины нарезки ФСПАНВ не наблюдается. Результаты разнородные, но лучшие, по сравнению со смесью без ФСПАНВ, при длине нарезки 12 мм. При нарезке 28 мм показатели хуже, чем у смеси без ФСПАНВ.

13. Введение ФСПАНВ в состав смеси приводит к улучшению (в среднем на 18%) средней скорости образования колеи, при нагрузке 0,6 МПа и температуре 50 °С после стабилизации. Наилучшие результаты у ФСПАНВ плотностью 0,77 текс с длиной нарезки 6 мм и 0,56 текс с длиной нарезки 18 мм (улучшение на 75%). Прямой зависимости изменения показателя от плотности и длины нарезки ФСПАНВ не наблюдается. Результаты разнородные, но лучшие, по сравнению со смесью без ФСПАНВ, при длине нарезки 6 и 12 мм. При длине нарезки ФСПАНВ 18 и 28 мм результаты хуже (на 60%), чем у смеси без ФСПАНВ.

14. Изменение длины нитей ФСПАНВ, после изготовления ДААБ(С) и испытаний под нагрузкой, незначительное (не более 30%), то есть существенного изменения длины нити не происходит, что можно считать положительным результатом.

Для исследований применялась асфальтобетонная смесь типа Б, марки I по ГОСТ 9128-2013 [3]. Смеси для исследований го-

товились по обычной стандартной технологии производства горячих асфальтобетонных смесей. Введение фибры в состав асфальтобетонной смеси выполнялось с помощью воздуходувки сразу после введения в асфальтобетонные смеси вяжущего.

В состав смесей вводилось полиакрилонитрильное волокно с различной плотностью и длиной нарезки. Изготовление контрольных образцов из этих смесей и их испытание выполнялось в соответствии с ГОСТ 12801 – 98 [4]. Исходная асфальтобетонная смесь типа Б марки I и асфальтобетонные смеси типа Б марки I с добавкой полиакрилонитрильного волокна испытывались по показателям, связанным с устойчивостью асфальтобетона к колеяности: предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин. В асфальтобетонные смеси вводилась добавка полиакрилонитрильной фибры в количестве 0,08% по массе смеси.

По результатам испытаний композиционных дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей, изготовленных с использованием полиакрилонитрильной фибры с различной плотностью и длиной нарезки, можно сделать выводы, что введение полиакрилонитрильной фибры в состав смеси приводит к улучшению показателя сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения. В среднем показатель улучшается на 2%. Наилучшие значения показателя сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения у композиционного дисперсно-армированного асфальтобетона с длиной нарезки 12 мм и плотностью 0,17 текс. Установлена зависимость улучшения сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения с уменьшением плотности полиакрилонитрильной фибры. По-видимому, с уменьшением плотности полиакрилонитрильной фибры происходит более интенсивное её переплетение с каркасными зернами смеси с увеличением показателя сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения.

При введении в состав асфальтобетонных смесей полиакрилонитрильной фибры происходит улучшение (увеличение) показателей предела прочности на сжатие при 50 °С и сдвигоустойчивости. Показатель трещиностойкости практически не изменяется при введении в асфальтовые смеси полиакрилонитрильной фибры. Установлено, что с увеличением плотности и длины нарез-

ки полиакрилонитрильной фибры показатель сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения при 50 °С улучшается. С уменьшением плотности полиакрилонитрильной фибры происходит улучшение сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения. С увеличением плотности полиакрилонитрильной фибры происходит увеличение (улучшение) показателя предела прочности образцов асфальтобетона на сжатие при 50 °С.

Список литературы

1. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Москва: СтандартИнформ, 2013.

2. ГОСТ 12801-98 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – Москва: СтандартИнформ, 1998.

3. Методические рекомендации по технологии армирования асфальтобетонных покрытий добавками базальтовых волокон (фиброй) при строительстве и ремонте автомобильных дорог (Утверждено распоряжением Росавтодора № ОС-12-р от 11.01.2002).

4. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий. Методические рекомендации. – Омск: СибАДИ, 2004.

5. Челпанов И.Б. Стандартизация испытаний строительных, дорожных материалов и изделий / Челпанов И.Б., Евтеева С.М., Талалай В.В., Кочетков А.В., Юшков Б.С. // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2011. – № 2. – С. 57–68.

References

1. GOST 9128-2013 Smesi asfaltobetonye, ajerodromnye i asfaltobeton. Tehnicheskie uslovija. Moskva: StandartInform, 2013.

2. GOST 12801-98 Materialy na osnove organicheskikh vjazhushhih dlja dorozhnogo i ajerodromnogo stroitelstva. Metody ispytanij. Moskva:StandartInform, 1998.

3. Metodicheskie rekomendacii po tehnologii armirovanija asfaltobetonyh pokrytij dobavkami bazaltovyh volokon (fibroj) pri stroitelstve i remonte avtomobilnyh dorog (Utverzhdeno rasporjazheniem Rosavtodora no. OS-12-r ot 11.01.2002).

4. Tehnologicheskoe obespechenie kachestva stroitelstva asfaltobetonyh pokrytij. Metodicheskie rekomendacii. Omsk: SibADI, 2004.

5. Chelpanov I.B. Standartizacija ispytanij stroitelnyh, dorozhnyh materialov i izdelij / Chelpanov I.B., Evteeva S.M., Talalaj V.V., Kochetkov A.V., Jushkov B.S. // Transport. Transportnye sooruzhenija. Jekologija. 2011. no. 2. pp. 57–68.