

Заключение

1. При оценке свойств бетон следует рассматривать как материал со значительной случайной составляющей характеристических параметров, подчиняющейся нормальному распределению, основной причиной которой являются вариации состава бетона и технологии бетонирования. Систематическая составляющая в оценке характеристической прочности бетона неразрушающими методами испытаний обусловлена двумя факторами: неадекватностью напряженно-деформированного состояния бетона в зоне контроля при неразрушающих и прессовых испытаниях; и неполной адекватностью процессов неразрушающих испытаний в железобетонной конструкции и малоразмерных образцах бетона.

2. Повышение надежности в оценки характеристической прочности бетона возможно на основе комбинирования стандартизованных методов неразрушающих испытаний. Опыт практического использования комбинированного метода позволяет рекомендовать его в качестве основы для введения в систему нормирования неразрушающих испытаний бетона.

3. Разница между прочностью на сжатие бетона в конструкции и прочностью стандартных испытательных образцов неизбежна. СТБ EN 13791-2012 допускает снижение прочности бетона в конструкциях: критериальный порог – гарантированная (характеристическая) прочность – снижен на 15 %. Этот пункт радикально отличает данный Евростандарт от действующих на данный момент стандартов Беларуси и России. Представленная статистика данных испытаний бетона монолитных конструкций ряда объектов строительства в Республике Беларусь подтверждает правомерность выбранного критерия и позволяет рекомендовать его к использованию.

4. Методика построения и коррекции градуировочных зависимостей неразрушающих методов определения прочности бетона в конструкциях по СТБ EN 13791-2012 содержит спорные моменты. Обратной стороной данной методики является существенное занижение оценки нормативного показателя прочности бетона в конструкции, что неизбежно повлечет за собой отказ от использования неразрушающих методов в практике строительства.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90. – Введ. 01.01.91. – М.: 1991. – 16 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 139 с.
3. Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях: СТБ EN 13791-2012. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012.
4. Бетон. Часть 1. Требования, показатели, изготовление и соответствие: СТБ EN 206-1-2009.
5. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-87. – Введ. 01.01.88. – М., 1988. – 12 с.
6. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля: ГОСТ 22690-88. – Введ. 01.01.91. – М.: 1991. – 22 с.
7. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности: СТБ 2264-2012, Госстандарт. – Минск, 2013. – 20 с.
8. Леонович, С.Н. Исследование неравнопрочности бетона на объекте монолитного строительства комплексным неразрушающим методом / С.Н. Леонович, Д.Ю. Снежков // Известия вузов. Строительство. – Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет. – 2009. – № 8. – С. 108–115.
9. Леонович, С.Н. Оценка характеристической прочности на сжатие бетона в конструкциях посредством косвенных методов испытаний / С.Н. Леонович, В.В. Тур, Д.Ю. Снежков // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: мат. междунар. академических чтений / Курский гос. ун-т. – Курск, 2010. – С. 160–166.
10. Снежков, Д.Ю. Неразрушающий контроль бетона монолитных конструкций / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович // Строительная наука и техника. – Мн., 2009. – №4(25). – С. 76-84.
11. Снежков Д.Ю., Анализ методик неразрушающих испытаний бетона конструкций по действующим государственным стандартам и нормам Евросоюза / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович, А.В. Вознищик // Наука и техника – 2013. – № 2 – Минск: БНТУ. – С 33–39.
12. Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen: DIN EN 13791-2009.

Материал поступил в редакцию 22.03.14

SNEZKOV D.Yu., LEONOVICH S.N., LATYSH A.V. Monitoring of built ferroconcrete designs on the basis of nondestructive tests of strength parameters of concrete

As a basis for discussion authors consider questions of monitoring of strength indicators of concrete of built designs nondestructive methods from positions of the standards existing in Republic of Belarus, the Russian Federation and the European Union countries. On the basis of statistics of natural tests of concrete of monolithic designs criteria of its compliance to a class on durability are considered, ways of increase of efficiency of control are offered.

УДК 625.7.06/07

Бусел А.В., Чистова Т.А., Наумовец А.Н.

АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕЕ НА УПРОЧНЯЮЩИХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОНЕНТАХ

В последние годы, в связи с быстрым ростом интенсивности, скорости движения и осевых нагрузок транспортных средств на дорогах наблюдается значительное накопление остаточных деформаций в верхних слоях асфальтобетонных покрытий в виде колеи и других видов поперечных и продольных неровностей.

Используемый в дорожном строительстве асфальтобетон представляет собой сложную многокомпонентную систему, зависящую главным образом от свойств и структуры асфальтовяжущего вещества. Асфальтовяжущее включает как свободный битум, так и битум, адсорбированный поверхностью минеральных частиц [1]. Для того, чтобы битум мог выполнять структурирующую роль в асфальтобетоне,

он должен быть равномерно распределен по минеральной поверхности. При этом важное значение имеет толщина битумного слоя, так как его тонкие пленки на минеральной поверхности имеют ориентированное строение молекул и способны воспринимать существенные внешние нагрузки. Свободный битум имеет склонность к вязкому деформированию и понижает сдвигоустойчивость асфальтобетона. Асфальтовяжущее можно рассматривать как композиционный материал, где один из компонентов – битум, обладающий непрерывностью по всему объему, выступает в качестве матрицы. Мелкодисперсный наполнитель – минеральный порошок, разделенный в объеме матрицы, выполняет роль структурирующей добавки, и волокна – армирующего

Бусел А.В., д.т.н., профессор, декан факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета.

Чистова Т.А., аспирант Белорусского национального технического университета.

Наумовец А.Н., инженер лаборатории органических вяжущих дорожного управления ГП "БелдорНИИ", аспирант Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Таблица 1. Показатели стекания вяжущего со щебеночно-мастичных смесей в зависимости от времени перемешивания и степени обработки волокна битумом

Дополнительное время перемешивания, с	Вид волокна					Норма
	Негранулированное	Гранулы с 0% битума	Гранулы с 11% битума	Гранулы с 20% битума	Гранулы с 37% битума	
0	45	45	45	45	45	15
9	30	40	39	36	32	15
18	20	32	28	26	23	15
27	11	25	21	19	14	15
36	8	20	15	14	10	15

Таблица 2. Свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов

Наименование показателей	Вид волокна					Норма СТБ 1033
	Негранулированное	Гранулы с 0% битума	Гранулы с 11% битума	Гранулы с 20% битума	Гранулы с 37% битума	
Плотность, г/см ³	2,46	2,45	2,45	2,45	2,45	-
Водонасыщение, % по объему	1,1	1,6	1,7	1,4	1,5	0,5-3,0
Набухание, % по объему	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	Не более 0,5
Предел прочности при сжатии 50°С, МПа	1,30	1,36	1,25	1,30	1,20	Не менее 0,9
Предел прочности при сдвиге 50°С, МПа	2,44	2,57	2,49	2,42	2,38	Не менее 2,30
Индекс сопротивления пластическим деформациям	1,36	1,41	1,32	1,38	1,29	Не менее 1,0
Индекс трещиностойкости	0,53	0,51	0,56	0,57	0,61	Не менее 0,5

Таблица 3. Показатели водостойкости и морозостойкости асфальтобетона

Вид волокна	Коэффициент морозостойкости		Коэффициент длительной водостойкости (раствор NaCl)	
	50 циклов	75 циклов	28 суток	60 суток
Чистое волокно	0,83	0,63	0,91	0,73
Волокно, обработанное битумом	0,86	0,68	0,90	0,78
Волокно, обработанное битумом с ПАВ	0,95	0,89	0,95	0,85
Волокно, обработанное парафинами	0,97	0,93	0,99	0,99

компонента [2]. Свойства композита определяются тремя параметрами: прочностью армирующего компонента, жесткостью матрицы и адгезией битума к порошку и волокнам.

При производстве наиболее распространенного в последнее время щебеночно-мастичного асфальтобетона используют целлюлозное волокно. Для равномерного распределения волокна в объеме асфальтовяжущего требуется интенсивное перемешивание, в противном случае комки волокон вследствие их гидрофильности вызывают накопление влаги и локальное разрушение асфальтобетона. Дополнительное перемешивание в процессе приготовления асфальтобетонной смеси приводит к уменьшению производительности асфальтобетонного завода и росту себестоимости щебеночно-мастичного асфальтобетона. Время перемешивания зависит от вида целлюлозной добавки, размера гранул и их состава. Проведенные в БелдорНИИ исследования [3] показали, что наименьшее время перемешивания у негранулированного целлюлозного волокна и у гранул целлюлозы, обработанной битумом (таблица 1).

В гранулированном волокне, при относительно малом количестве битума, требуется время не только на распределение волокна по всему объему смеси, но и на разрушение гранул. Чем меньше связующего вещества, тем меньше расстояние между отдельными волокнами в грануле и сильнее оно спрессовано, тем больше сцепление между отдельными волокнами целлюлозы. На преодоление этого сцепления затрачивается дополнительная работа смесителя. При большем содержании битума в гранулах сцепление уменьшается, и волокна легче распределяются в объеме смеси. Данные волокна были использованы в составе асфальтобетона. Показатели свойств щебеночно-мастичной смеси при одинаковом времени перемешивания (63 с) представлены в таблице 2.

Анализ представленных результатов свидетельствует о том, что все смеси соответствуют нормативным требованиям СТБ 1033-2004.

Непосредственно целлюлозные волокна не оказывают влияние на прочностные показатели асфальтобетона, поэтому они не участвуют в армировании макроструктуры асфальтобетона, а их влияние ограничивается асфальтовяжущим. Между тем они оказывают существенное влияние на долговечность асфальтобетона, поскольку во время перемешивания смеси часть поверхности волокон может остаться без битумной пленки, а это значит, что в структуре асфальтобетона появляются гидрофильные участки, способные концентрировать влагу и удерживать ее в период разрушительного действия знакопеременных температур. Для предотвращения этого явления целлюлозные волокна предварительно обрабатывают битумом, содержащим поверхностно-активные вещества. При этом водо- и морозостойкость асфальтобетона существенно увеличиваются, что подтверждается данными таблицы 3.

Как видим, при проведении длительных испытаний на коррозионную устойчивость прочностные показатели щебеночно-мастичного асфальтобетона снижаются, но темп падения прочности при введении ПАВ замедляется в два раза. Лучшие результаты достигаются в случае предварительной обработки целлюлозы гидрофобизирующими составами на основе парафинов (озоперита или эвентита). Парафины разветвляют структуру целлюлозы, увеличивая ее сорбционную способность по отношению к битуму.

Оптимальным является введение изначально гидрофобных волокон, например графитовых. Такая волокнистая добавка способна удерживать на своей поверхности жидкие углеводороды в количествах в несколько раз превосходящих саму массу сорбента (по битуму в 45 раз). Получают такой материал в результате термического расщепления графита (содержание химически чистого углерода не менее 96%), в результате образуются волокна, имеющие развитую поверхность [4].

Таблица 4. Условия активации стекловолокна

№ п/п	Содержание активатора, %	Длина стержней стекловолокна, мм	Время кипячения, мин
1	0,5	20	7
2	0,5	30	7
3	0,5	40	7
4	0,2	30	7
5	0,8	30	7
6	0,5	30	5
7	0,5	30	10

Таблица 5. Свойства дисперсно-армированного асфальтобетона

№ п/п	Предел прочности при сжатии, МПа, при			Набухание, %	Водонасыщение, %	Коэффициент	
	0°С	+20°С	+50°С			водостойкости	длительной водостойкости
Без волокна							
1	11,1	5,00	3,09	0,3	1,8	0,97	0,91
2	11,8	5,22	3,64	0,3	1,8	0,97	0,92
3	11,2	5,10	3,42	0,3	1,7	0,97	0,92
4	10,7	4,96	3,26	0,3	1,9	0,91	0,86
5	10,4	5,18	3,63	0,3	2,2	0,97	0,88
6	11,2	5,01	3,48	0,3	1,8	0,95	0,90
7	11,5	5,10	3,62	0,3	1,8	0,94	0,89

Увеличивая вязкость асфальтовяжущего в период транспортировки асфальтобетонной смеси, волокна целлюлозы в уплотненном асфальтобетоне не играют значимой роли в повышении его сдвигоустойчивости. В этом случае щебеночно-мастичном асфальтобетоне используют резервы минерального остова, состав которого формирует устойчивую структуру. В этих целях применяют высокопрочные каменные материалы преимущественно кубовидной формы, способные создавать плотную упаковку.

В случае использования традиционных асфальтобетонов их несущую способность можно повысить путем использования в качестве дисперсной арматуры более прочных стержней, металлической фибры или стекловолокна [5]. Однако для обеспечения сцепления битума с поверхностью такой арматуры ее также надо химически активировать. Для стекловолокна разработан специальный способ обработки путем кипячения в 0,2–0,8 %-м водном растворе натриевых солей алкиларилсульфонатов в течение 5-10 минут с последующей сушкой [6].

Условия активации и свойства получаемого асфальтобетона представлены в таблицах 4, 5. Из приведенных данных следует, что активация стекловолокна обеспечивает требуемую степень его сцепления с битумом, что обуславливает высокую прочность и водостойкость асфальтобетона. Это достигается тем, что молекулы алкиларилсульфонатов в процессе кипячения адсорбируются активной группой на поверхности стекловолокна путем взаимодействия с ее гидроксидными и образованием эфирной связи, а углеводородные радикалы поворачиваются в противоположную от минеральной поверхности сторону, обеспечивая гидрофобность и сродство с битумом. В результате дисперсная арматура в составе асфальтобетона начинает эффективно работать, улучшая его прочностные и реологические параметры.

Для направленного регулирования свойств волокон может использоваться еще один способ химической активации – обработка стекловолокон силановым замасливателем, что повышает его физико-химическую активность при взаимодействии с битумом. Данное заключение было сделано в результате лабораторных исследований, проведенных по стандартной методике определения адгезии вяжущего к заполнителю согласно ГОСТ 11508-74. При проведении испытаний было установлено, что однородная устойчивая смесь волокна и вяжущего достигается в том случае, если рН водной вытяжки из стекловолокна носит нейтральный характер. Это достигается в случае использования силанового замасливателя, который обеспечивает хорошее перемешивание и необходимая степень адгезии к битуму (рис. 1).



Рис. 1. Смесь волокна с вяжущим после кипячения

Дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния добавок стекловолокна на свойства щебеночно-мастичного материала, используемого в деформационных швах. Для повышения устойчивости деформационных швов в условиях интенсивной транспортной нагрузки необходимо улучшить физико-механические и реологические свойства щебеночно-мастичного композита путем его дисперсного армирования волокнами из Е-стеклом, обработанного силановым замасливателем.

Длина рубленого волокна согласно спецификации может изменяться от 1,0 мм до 13,5 мм [7]. Нами было выбрано волокно длиной 9,0–12,0 мм и диаметром 13 мкм, исходя из соображений сопоставимости с размерами щебня, применяемого в конструкции деформационного шва, и возможности его защемления между минеральными частицами для увеличения эффекта армирования.

Армированный вяжущий материал для устройства деформационных швов готовили по следующей технологии: органическое вяжущее разогревалось до температуры 180–190 °С, затем последовательно добавляли рубленое волокно и перемешивали в лопастной мешалке в течение 10–15 мин. В качестве органического вяжущего использовали битумно-эластомерную мастику марок МГБЭ Ш-90 и МГБЭ М-85 с физико-механическими показателями, соответствующими требованиям СТБ 1092-2006.

Количественный состав и результаты испытаний полученных армированных вяжущих материалов для устройства деформационных швов представлены в таблицах 6 и 7.

Необходимо отметить, что при введении волокна более 0,8 % в битумно-эластомерную мастику возникли проблемы с перемешиванием – армированный вяжущий материал терял однородность.

Таблица 6. Составы армированных вяжущих материалов

Компоненты	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
МГБЭ Ш-90 СТБ 1092-2006, %	100	99,6	99,4	-	-	-
МГБЭ М-85 СТБ 1092-2006, %	-	-	-	99,8	99,6	99,4
Рубленое волокно из Е-стекла, %	-	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6

Таблица 7. Физико-механические показатели армированных вяжущих материалов

Наименование показателя	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3	Состав № 4	Состав № 5	Состав № 6
Температура размягчения по КиШ, °С	90	93	94	100	102	104
Пенетрация (глубина проникания иглы при температуре 25 °С), мм ⁻¹	94	86	80	83	79	76
Прочность сцепления с основанием, МПа	0,24	0,36	0,40	0,18	0,38	0,40
Относительное удлинение при растяжении при минус 20 °С, %	100	120	127	80	112	120
Упругость, %	55	55	56	47	50	50
Упругость после искусственного старения, %	48	52	53	43	45	46
Стойкость к циклическим деформациям при температуре минус 20 °С, циклы/относительное удлинение, %	1/100	3/100	3/100	3/100	4/100	5/100
Сопrotивление текучести, мм, при температуре:						
70 °С	3	1	0	4	2	1
80 °С	5	2	1	6	3	3

Согласно проведенным данным у армированного вяжущего материала (составы №№ 2, 3, 5, 6) по сравнению с традиционной битумно-эластомерной мастикой увеличивается теплостойкость (приблизительно на 5 °С), повышается прочность сцепления с цементобетонным основанием (в 1,5-2 раза), при этом не теряются упругие свойства после искусственного старения. Также у полученного материала выше показатели сопротивления текучести при положительных температурах (в 2-3 раза) и относительного удлинения при растяжении при отрицательной температуре (на 20-30 %), стойкость к циклическим деформациям при отрицательной температуре возрастает в 1,5 раза.

Заключение. Асфальтовяжущее на упрочняющих волокнистых компонентах способно существенно повысить сдвигоустойчивость асфальтобетона и щебеночно-мастичного композита для деформационных швов. Если для щебеночно-мастичного асфальтобетона целлюлозное волокно выполняет роль стабилизатора битумной пленки на поверхности щебня, обеспечивающего более сдвигоустойчивую структуру, то для асфальтобетона типов А и Б армирование стекловолокном приводит к повышению устойчивости структуры за счет защемления волокон между частицами песка и щебня. Причем во всех случаях волокна должны иметь хорошую адгезию к битуму, что обеспечивается их специальной обработкой – активацией. Такой комплексный подход к применению волокнистых добавок в

асфальтобетоне обеспечивает восприятие тяжелых транспортных нагрузок в период высоких летних температур.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Гезенцев, Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. – М.: Стройиздат, 1981 – 255 с.
- Шалыт, С.Я. Влияние активного наполнителя и растворителя на структурно-механические свойства битума / С.Я. Шалыт, Н.В. Михайлов, П.А. Ребиндер // Коллоидный журнал. – 1957. – Том XIX. – Вып. 2. – С. 51–56.
- Шумчик, В.К. Влияние вида гранул целлюлозы на свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей / Автомобильные дороги и мосты. – 2007. – № 1. – С. 53–56.
- ЗАО «Ливсор». Описание продукции [Electronic resource] Mode of access: <http://www.livsor.by/production>
- Ковалев, Я.Н. Исследование влияния отходов стекловолокна и минерального порошка из отработанных формовочных смесей на свойства дорожного асфальтобетона / Я.Н. Ковалев, В.В. Малиновский, А.В. Бусел [и др.] // Автомобильный транспорт и дороги – Мн.: Выш. шк., 1981. – Вып. 8 – С. 69–72.
- Способ приготовления асфальтобетонной смеси: А.с. № 1133280 / Я.Н. Ковалев, А.В. Акулич, А.В. Бусел [и др.] – Б.И. – 1975. – № 1.
- Волокно стеклянное рубленое: ТУ РБ 300059047.033-2004.

Материал поступил в редакцию 02.06.14

BUSEL A.V., CHISTOVA T.A., NAUMOVETS A.N. Asphaltknitting on strengthening fibrous components

In article the knitting substance on strengthening fibrous components which is capable to raise significantly an asphalt concrete sdvigoustoychivost under the influence of heavy transport loadings in the period of high summer temperatures is considered asphalt.