

ВЛИЯНИЕ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ АСФАЛЬТОГРАНУЛОБЕТОНА

Канд. техн. наук Г.С. Бахрах
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Контактная информация: bakhrakh@rosdornii.ru

Рассмотрены результаты проведенного в США исследования влияния порошкообразных добавок на прочность асфальтогранулобетона в сухом и влажном состояниях. Приводится интерпретация полученных результатов с учетом данных автора настоящей статьи. Показано, что результаты исследований подтверждают правильность подхода при разработке соответствующего отечественного нормативного документа.

Ключевые слова: асфальтогранулобетон, вспененный битум, добавка заполнителя, прочность при расколе, холодная регенерация.

Первый документ по холодной регенерации асфальтобетона в России был разработан в ГП «РОСДОРНИИ» и издан в 2002 г. [1]. В работе [2] был обобщен накопленный зарубежный и отечественный опыт, а в 2015 г. представлен в Росавтодор переработанный нормативный документ, который до сих пор так и не утвержден.

В результате холодной регенерации (за рубежом ее называют холодной переработкой – *Cold Recycling*) образуется конструктивный слой дорожной одежды из материала, названного автором настоящей статьи *асфальтогранулобетоном* или сокращенно – АГБ. Основным компонентом АГБ является асфальтобетонный гранулят (АГ) – продукт холодного фрезерования асфальтобетонного покрытия. За рубежом его называют регенерированный материал асфальтобетонной дорожной одежды (*Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*). Чтобы склеить между собой гранулы и добавляемый скелетный материал, во влажную смесь вводят вяжущее.

Чем плотнее АГБ-слой, тем выше его модуль упругости и тем более тонкий усиливающий асфальтобетонный слой требуется для достижения проектного общего модуля упругости дорожной одежды в рамках капитального ремонта. Поэтому в состав АГБ-смеси можно включать порошкообразный заполнитель, кроме минеральных вяжущих: цемента или гашеной извести.

Чаще всего в качестве вяжущего используют битумную эмульсию или вспененный битум, или сочетание одного из этих вяжущих с

цементом. При содержании в смеси цемента менее 2 % его можно рассматривать в качестве *активного заполнителя*. В монографии [3] активным заполнителем считаются порошки, химически влияющие на свойства АГБ. Они улучшают распределение битума в смеси и повышают скорость набора прочности. Там же, на с. 149, отмечается, что цемента следует вводить не более 1 % от массы сухого материала, а гашеной извести – от 1,5 % и выше. При стабилизации смеси только цементом, кроме усадочного растрескивания слоя (подробнее см. в [4]), возможно опасное воздействие *карбонизации*, когда под воздействием воды или водяного пара молекулы свободной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ преобразуются в гашеную известь CaCO_3 . В этом случае объем материала может увеличиться, что приведет к его разрушению. Но это происходит при повышенном содержании цемента.

Изучением влияния порошкообразных добавок на свойства АГБ глубоко занимаются в Национальном центре асфальтовой технологии (*National Center for Asphalt Technology*) в Оберне, штат Алабама США. В работе [5] приводятся результаты исследования прочностных свойств АГБ со вспененным битумом в качестве вяжущего и добавкой таких порошков, как цемент, гашеная известь, зола уноса и пыль, уловленная фильтром при изготовлении асфальтобетонной смеси, включающей кремнезем и доломит. Для ускорения формирования АГБ лабораторные образцы-цилиндры подсушивали в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией при температуре 40 °С (схема 1), а перед испытанием выдерживали в течение 1 ч при температуре 25 °С. Определяли предел прочности на растяжение при расколе (за рубежом этот показатель называют прочностью при косвенном растяжении – *Indirect Tensile Strength (ITS)*). Образцы испытывали в сухом и влажном состояниях. Во втором случае их погружали в воду на 24 ч при температуре 25 °С. Кроме указанного выше условия выдерживания сухих образцов, использовали еще четыре схемы выдерживания:

1. первая схема – + 30 суток в сухом помещении с температурой 20-25 °С;
2. первая схема – + 30 суток в камере с влажностью 100 %;
3. первая схема – от 3 до 120 суток выдерживания на открытом воздухе;
4. первая схема – + 100 суток со слоем асфальтобетона, прикрывающим слой АГБ.

Для оценки влияния на прочность АГБ количества добавки и способа хранения образцов определяли статистическую значимость этих факторов в виде p -уровня¹.

В табл. 1 приведены ранжированные прочностные показатели АГБ при стандартном выдерживании образцов (схема 1). Лучшие результаты в сухом состоянии показали образцы с добавкой цемента в количестве 1,5 и 2,0 % и пыли в том же количестве. Далее идут АГБ с добавками 2,0 % извести и 5 % золы. Как следует из таблицы, все добавки улучшают прочность АГБ во влажном состоянии.

Оказалось, что при хранении образцов с добавкой цемента во влажных условиях прочность в сухом состоянии растет быстрее, чем при хранении в сухих условиях ($p = 0,04$). Это указывает на то, что при смешивании рыхлого материала с водой не весь объем цемента успевает прогидратировать.

Статистический анализ показал, что содержание извести и хранение образцов во влажных условиях не оказывают существенного влияния на прочность ($p = 0,235$ и $0,599$ соответственно).

Хранение образцов с добавкой пыли во влажных условиях снижает прочность в сухом состоянии для всех уровней ее содержания.

Интерес представляет оценка влияния на прочность АГБ в сухом состоянии, при выдерживании его в естественных условиях (четвертая схема выдерживания).

Образцы с цементом через 30 суток достигают 92 % 100-суточной прочности, а дальше прочность практически не изменяется. Достигнутая прочность соответствует прочности образцов после выдерживания их по первой схеме (трое суток при 40 °С). Образцы с известью показали существенный рост прочности в первые две недели, а через 100 суток при медленном нарастании прочности даже превзошли по прочности образцы с цементом. Прочность образцов с пылью быстро растет в первые две недели, достигая через 30 суток 100-суточной прочности образцов с цементом. Образцы с золой достигают почти той же прочности через месяц. Однако сравнение результатов 30- и 100-суточной прочности не показывает существенных различий ($p = 0,550$).

¹ Комментарий: показатель p -уровень является вероятностью того, что сделанный из результатов испытаний вывод достоверно отражает влияние рассматриваемых факторов на исследуемый параметр. При $p > 0,1$ достоверность не обнаружена; при $p < 0,1$ различия обнаружены на уровне тенденции; при $p < 0,05$ обнаружены значимые различия; при $p < 0,01$ различия обнаружены на высоком уровне.

Прочностные показатели АГБ с разными добавками

№ состава	Сухие добавки			Влажные добавки		
	Вид добавки	Содержание, %	Прочность, МПа	Вид добавки	Содержание, %	Прочность, МПа
1	Цемент	2,0	0,240	Цемент	2,0	0,193
2	Пыль	2,0	0,218	Цемент	1,5	0,182
3	Пыль	1,5	0,216	Цемент	1,0	0,169
4	Цемент	1,5	0,210	Известь	1,0	0,163
5	Известь	2,0	0,202	Зола	5,0	0,160
6	Зола	5,0	0,201	Известь	1,5	0,160
7	Цемент	1,0	0,195	Известь	2,0	0,146
8	Пыль	5,0	0,193	Зола	1,0	0,133
9	Известь	1,0	0,186	Пыль	5,0	0,129
10	Известь	1,5	0,183	Зола	1,5	0,128
11	-	0	0,179	Зола	2,0	0,125
12	Зола	2,0	0,172	Пыль	1,5	0,119
13	Пыль	1,0	0,171	Пыль	1,0	0,118
14	Зола	1,0	0,168	Пыль	2,0	0,110
15	Зола	1,5	0,150	-	0	0,108

Исследования показали, что самой эффективной из исследованных добавок является цемент, так как АГБ с цементом обладает наиболее высокой прочностью и в сухом, и во влажном состояниях, что, собственно, и подтверждается накопленным опытом.

Обсуждение результатов работы [5]

Представляется наиболее интересным результат, показывающий, что со временем прочность АГБ возрастает независимо от вида добавки, ее количества и погодных условий. Авторы не рассматривают причину этого явления. А причина заключается в том, что все строительные материалы, включающие воду при приготовлении, по мере ее испарения упрочняются. Наиболее ярко это видно на примере испытания смеси без добавок.

Что касается влияния добавки на прочность, то для неактивных добавок это зависит от плотности АГБ. По аналогии с асфальтобетоном оптимальное количество мелких зерен должно соответствовать кривым плотных смесей. То, что даже неактивные добавки увеличивают прочность образцов, подтверждает высказанное соображение. К сожалению, авторы не указывают значения этого параметра для исследованных составов. При этом следует отметить, что ими не включен в число добавок известняковый минеральный порошок, используемый в асфальтобетоне. В переработанном отечественном нормативном документе рекомендуется добавление минерального порошка.

Эффективность добавки оценивали только по прочности при расколе или сжатии, не испытывая образцы на усталость, что более важно для АГБ.

Чтобы исключить влияние способа выдерживания лабораторных образцов на их прочность, в документе [1] рекомендуется высушивать их до постоянного веса.

Абсолютные значения прочности при расколе оказались ниже, чем приведенные в требованиях переработанного отечественного документа. Вероятно, это связано с тем, что ITS-испытания в США проводят при температуре образцов 25 °С, а в России – при температуре 20 °С. Возможно, в переработанном документе требования к этому показателю следует снизить на 0,05 МПа.

В целом, анализ показывает правомерность подхода, использованного при разработке отечественного документа.

ВЫВОДЫ

1. Рост прочности АГБ во времени подтверждает результаты исследований автора данной статьи.
2. Введение в смесь оптимального количества минерального порошка, независимо от его активности, увеличивает прочность АГБ благодаря увеличению его плотности.
3. Подготовка образцов к испытанию в США отличается от принятой в России. Отечественная процедура проще, но это не влияет на результаты.
4. Подтверждена целесообразность перехода при испытаниях АГБ от прочности при сжатии к прочности при расколе в проекте переработанного отечественного документа.
5. Испытание водонасыщенных по ГОСТ 12801 образцов асфальтобетона является слишком жестким для АГБ. Целесообразно ис-

пользовать метод капиллярного водонасыщения, применяемого при испытании укрепленных грунтов.

6. Требования к прочности образцов в проекте переработанного документа вероятно завышены. Целесообразно снизить их на 0,05 МПа.
7. Анализ полученных в США данных позволяет считать правомерность подхода, использованного при разработке проекта отечественного документа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации / Минтранс России, Гос. служба дор. хоз-ва (РОСАВТОДОР). – М.: Инфрмавтодор, 2002. – 56 с.*
2. *Бахрах Г.С. Повторное использование асфальтобетона / Г.С. Бахрах // Автомобильные дороги . – 2015. – № 10. – С. 52-55; № 11. – С. 52-55.*
3. *Wirtgen. Технология холодного ресайклинга / Wirtgen GmbH, 2012. – 365 с.*
4. *Бахрах Г.С. Об особенностях поперечного растрескивания регенерированного слоя дорожной одежды / Г.С. Бахрах // ДОРОГИ И МОСТЫ.– 2012. – Вып. 27/1. – С. 81-86.*
5. *Ma W. Effects of Mineral Additives on Cold Recycled Asphalt Mixtures Cured in Laboratory and Field Conditions / R.S. West, N. Tran, B.K. Diefenderfer, C. Chen // TRR. – 2018. – № 2672. – PP. 134-143.*

L I T E R A T U R A

1. *Metodicheskie rekomendacii po vosstanovleniyu asfal'tobetonnyh pokrytij i osnovanij avtomobil'nyh dorog sposobami holodnoj regeneracii / Mintrans Rossii, Gos. sluzhba dor. hoz-va (ROSAVTODOR). – М.: Informavtodor, 2002. – 56 s.*
2. *Bahrah G.S. Povtornoe ispol'zovanie asfal'tobetona / G.S. Bahrah // Avtomobil'nye dorogi . – 2015. – № 10. – S. 52-55; № 11. – S. 52-55.*
3. *Wirtgen. Tekhnologiya holodnogo resajklinga / Wirtgen GmbH, 2012. – 365 s.*

4. Bahrah G.S. *Ob osobennostyah poperechnogo rastreskivaniya regenerirovannogo sloya dorozhnoj odezhdy* / G.S. Bahrah // *DOROGI I MOSTY*. – 2012. – Vyp. 27/1. – S. 81-86.
5. Ma W. *Effects of Mineral Additives on Cold Recycled Asphalt Mixtures Cured in Laboratory and Field Conditions* / R.S. West, N. Tran, B.K. Diefenderfer, C. Chen // *TRR*. – 2018. – No 2672. – PP. 134-143.

**EFFECT OF POWDERED ADDITIVES ON
ASPHALT GRANULATED CONCRETE STRENGTH**

Ph. D. (Tech.) G.S. Bakhrakh
(FAI «ROSDORNII»)

Contact information: bakhrakh@rosdornii.ru

The research results concerning the effect of powdered additives on the strength of asphalt granulated concrete in the dry and wet conditions, performed in the United States are considered. An interpretation of the results obtained is given taking into account the data of this article' author. It is shown that the research results confirm the correctness of the approach to the development of the relevant domestic regulatory document.

Key words: *granulated asphalt concrete, foamed bitumen, aggregate addition, fracture strength, cold recycling.*

Рецензент: д-р техн. наук А.В. Руденский (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 07.02.2019 г.