

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ СТАРЕНИЯ НА СРОК СЛУЖБЫ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ, РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ГОРЯЧИМ СПОСОБОМ

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

1. Механизм старения асфальтобетонного покрытия

В асфальтобетонном покрытии под влиянием климатических и эксплуатационных воздействий происходит постепенное изменение текстуры асфальтобетона и структуры битумного вяжущего.

Текстурные изменения связаны в основном с доуплотнением покрытия и частичным измельчением зёрен минерального материала под воздействием движущегося транспорта. Это приводит к перераспределению вяжущего в асфальтобетоне и уменьшению условной толщины плёнки битума на минеральных зёрнах. Происходит так называемое "отошение" асфальтобетона и, как следствие, увеличение его жёсткости.

Битум претерпевает необратимые изменения в результате термоокислительного воздействия атмосферных факторов, причём главную роль в этом процессе играют кислород воздуха и температура покрытия. Кроме того, происходит испарение лёгких фракций мальтеновой части битума.

По мере старения битума изменяются физико-механические свойства асфальтобетона: возрастают его прочностные показатели, модуль упругости, относительное удлинение при разрыве. Достигнув экстремального значения, они начинают снижаться. Переломный момент, по данным [1], соответствует 7-12 годам эксплуатации покрытия. В этот же период происходит его интенсивное разрушение.

В первые 4-6 лет эксплуатации покрытия показатели его водонасыщения и набухания уменьшаются, затем постепенно возрастают и, начиная с 8-9 года, резко увеличиваются [1].

При искусственном старении песчаного асфальтобетона на битумах разных типов в лабораторных условиях его прочность при сжатии и растяжении увеличиваются на 30-70 % (I тип), 10-30 % (II тип) и снижаются на 20-70 % (III тип); сопротивление удару падает соответственно на 20-40 %, 25-35 % и 60-85 %; водоустойчивость снижается на 5-10 % (II тип) и 10-50 % (III тип) (В.В. Михайлов, 1965 г.). Хотя считается, что оптимальными свойствами для дорожных условий обладают битумы III типа, свойства асфальтобетона на таком битуме значительно ухудшаются в процессе старения.

Причиной ухудшения сопротивляемости асфальтобетона агрессивному воздействию транспорта и погодным условиям является снижение со временем прочности битума (когезии). Кривая зависимости этого показателя от времени эксплуатации покрытия имеет тот же характер, что и кривые изменений свойств асфальтобетона (А.С. Колбановская, В.В. Михайлов, 1973 г.).

Исследуя процесс старения асфальтобетонного покрытия, автор пришел к выводу, что кинетика этого процесса обусловлена при прочих равных условиях не только типом битума, но в большей степени текстурой асфальтобетона. В качестве совокупного критерия для оценки интенсивности старения покрытия был предложен "коэффициент воздухопроницаемости", представляющий собой отношение водонасыщения асфальтобетона к средневывчисленной толщине битумной плёнки [2]. Чем выше водонасыщение и тоньше плёнка, тем выше скорость старения асфальтобетона. В свою очередь, чем ниже отношение содержания битума к содержанию минерального порошка в асфальтобетоне, тем выше скорость его старения.

2. Повреждения верхнего слоя покрытия, связанные со старением

Срок службы верхнего слоя покрытия ограничен в первую очередь прогрессирующим появлением выбоин [3].

Повреждения других видов (колеиность, температурное растрескивание, шелушение, выкрашивание и снижение шероховатости) не являются поводом для удаления или восстановления этого слоя.

Старение асфальтобетона способствует увеличению количества температурных трещин, но при соответствующем уходе они не препятствуют нормальному движению транспорта.

Опасность представляет уменьшение коррозионной стойкости асфальтобетона (Л.Б. Гезенцев, 1972 г.), что фиксируется снижением его водостойкости. Как отмечалось выше, этот процесс происходит медленно.

Существует ошибочное мнение, что старение асфальтобетона в верхнем слое покрытия может снизить сопротивление дорожной одежды усталости от воздействия транспорта. Но в соответствии с положениями механики разрушения дорожной одежды основную нагрузку принимают на себя нижележащие битумосвязные слои, а тонкий верхний слой даже из новой смеси не в состоянии существенно продлить срок службы дорожной одежды [4].

3. Влияние старения битума на срок службы дорожной одежды

В процессе эксплуатации дороги модуль упругости дорожной конструкции снижается по логарифмическому закону. Основной причиной такого процесса является усталостное растрескивание монолитных слоёв, работающих на изгиб. Было предложено определять срок службы запроектированной дорожной одежды по критерию усталостного растрескивания [4].

Число циклов приложения повторных нагрузок до наступления предельного состояния пакета монолитных слоёв дорожной одежды (выносливость) N_p при прочих равных условиях зависит от одноциклового прочностного материала нижнего монолитного слоя R_{η} , максимального растягивающего напряжения при изгибе в основании рассматриваемого слоя от колеса расчетного автомобиля σ при заданных условиях нагружения и температуре, усталостного показателя материала рассматриваемого слоя n , определённого при тех же условиях [5]. В свою очередь показатель σ зависит от модуля упругости пакета асфальтобетонных слоев E , определённого при тех же условиях.

Очевидно, что из-за старения битума в асфальтобетоне значения перечисленных параметров будут изменяться во времени. Более подробно об этом написано в работе [6].

Наряду с процессом накопления усталостных микрповреждений при эксплуатации асфальтобетонных покрытий имеет место и обратный процесс – их самозалечивание, скорость которого зависит от вязкости и количества битума в асфальтобетоне. Очевидно, что по мере старения асфальтобетона вязкость битума будет возрастать и скорость самозалечивания снижаться.

Лабораторные исследования выносливости асфальтобетона являются трудоёмкими и дорогостоящими. Однако, пока это единственный надёжный способ оценки реального поведения различных составов асфальтобетона в конструкции.

Из последних работ в этом направлении следует отметить исследования, проведенные в Техасском институте транспорта (США) [7]. Сравнивали значения механических показателей свойств асфальтобетона до и после прогрева в течение трёх месяцев при температуре 60 °С. Выносливость в результате старения снизилась почти в три раза.

По-видимому, в первые годы эксплуатации дороги выносливость нижнего слоя покрытия повышается вместе с увеличением прочностных и деформационных свойств асфальтобетона, достигая экстремального значения, а затем начинает снижаться. К сожалению, в работе [7] не ставилась задача нахождения точки перелома в графике зависимости выносливости асфальтобетона от времени прогрева.

4. Оценка степени старения асфальтобетона в покрытии

Современный ресурсосберегающий метод ремонта верхнего слоя асфальтобетонного покрытия – метод термопрофилирования [8] – позволяет изменять при необходимости свойства старого асфальтобетона. Чтобы принять соответствующее решение, необходимо знать как далеко зашёл процесс старения.

За рубежом степень старения асфальтобетона обычно оценивают по свойствам битума, извлечённого из покрытия методом экстрагирования (пенетрация, температура размягчения, индекс пенетрации). Широко применяют также способы прочностного испытания асфальтобетона после искусственного или естественного старения.

Анализ результатов образцов испытанных различными способами после их искусственного старения, показывает большую эффективность динамических методов и метода испытания на раскол, так как снижение соответствующих показателей по мере старения асфальтобетона наступает быстрее. Эти методы испытания менее трудоемки, чем испытание на выносливость.

Наиболее сложным вопросом является установление предельных значений показателей старения, при достижении которых целесообразно омолаживание асфальтобетона в процессе термопрофилирования.

5. Влияние на свойства регенерированного асфальтобетона разогрева покрытия в процессе термопрофилирования

В процессе термопрофилирования осуществляется интенсивный нагрев инфракрасным излучением поверхности покрытия, и её температура может достигать 180 °С [9]. При таких температурах происходит деструкция битума.

Применение двух асфальторазогревателей позволяет осуществить более щадящий нагрев. Но и в этом случае в битуме резко ускоряется процесс старения.

После проведения работ способом термопланирования покрытие начинало выкрашиваться уже через 1-2 года. Вместе с тем испытание образцов из вырубок показало, что свойства асфальтобетона мало изменяются в процессе термопланирования [10]. Низкую коррозионную стойкость регенерированного слоя можно объяснить присутствием на его поверхности агрегатов с деструктурированным битумом и недостаточной плотностью слоя. Последнее объясняется тем, что, с одной стороны, тонкие слои быстрее остывают, а с другой стороны, в результате старения уплотняемость смеси может снижаться из-за увеличения вязкости битума.

При термопрофилировании с использованием термосмесителя (ремиксера) происходит равномерное распределение агрегаты с деструктурированным битумом в смеси и, вследствие их незначительного количества, они не должны оказывать большого влияния на свойства регенерированного слоя.

6. Восстановление асфальтобетона

Основой омолаживающих составов (восстановителей) являются преимущественно нефтяные масла, содержащие большое количество ароматических соединений. Для состарившегося битума они являются пластификатором.

В США при термопрофилировании пластификатор рекомендуют добавлять с целью замедления появления отражённых трещин, а во Франции, в частности, для улучшения уплотняемости старого разрыхленного асфальтобетона [10].

В СССР работы по регенерации асфальтобетона с применением пластификаторов были начаты ещё в конце 60-х годов XX в. и получили развитие в Гипродорнии [10].

За рубежом для омолаживания асфальтобетона применяют различные запатентованные углеводородные составы. Из отечественных восстановителей наиболее эффективными являются экстракты селективной очистки масляных фракций нефти (Э), содержащие ароматические углеводороды высокой концентрации [11], хорошо растворяющие асфальтены.

В Гипродорнии было предложено использовать в качестве пластификатора при термопрофилировании отработанное моторное масло (ММО) в количестве 0,3-0,4 % от массы старой асфальтобетонной смеси (способ термопластификации) [12]. Хотя ММО, по сравнению с Э содержит парафино-нафтеносодержащие углеводороды, плохо растворяющие асфальтены, и меньшее количество ароматических углеводородов, были получены положительные практические результаты в части увеличения плотности асфальтобетона и замедления отражённого трещинообразования [13]. Однако повышается риск колееобразования.

Свойства состарившегося асфальтобетона можно улучшить также путём добавления новой смеси в количестве 25-35 кг/м² при термопрофилировании **способом термосмещения** [13]. В этом случае эффект достигается благодаря увеличению плотности асфальтобетона.

7. Цель исследования и теоретические предпосылки

Целью исследования являлась разработка критерия целесообразности омолаживания асфальтобетона в процессе термопрофилирования.

При исследовании отобранного из покрытия асфальтобетона о степени старения трудно судить по абсолютным значениям его физико-механических свойств. Но, если такой асфальтобетон дополнительно состарить прогревом, то, сравнивая результаты испытания до и после прогрева, можно понять на какой ветви старения они находятся: восходящей или нисходящей.

Из разделов 1 и 4 следует, что наиболее чувствительными к ухудшению свойств асфальтобетона в результате старения являются прочность при расколе и водостойкость. Объединив испытания по определению вышеуказанных свойств, предложено определять прочность асфальтобетона при расколе в водонасыщенном состоянии.

8. Экспериментальная часть

Для исследования была взята свежеприготовленная асфальтобетонная смесь типа Б следующего состава: щебень гранитный с размером фракций 10-20 мм – 18 %, 5-10 мм – 14 %; песок – 51,5 %; минеральный порошок – 11 %; битум МПЗ марки БНД 60/90 с пенетрацией 79 0,1 мм и температурой размягчения 48 °С – 5,5 %. Результаты стандартных испытаний асфальтобетона приведены в *табл. 1*.

Таблица 1

Наименование показателя	Значение
Средняя плотность (γ), г/см ³	2,38
Водонасыщение (W), % по объёму	2,3
Предел прочности при сжатии, МПа:	
– при температуре 50 °С (R_{50})	1,5
– то же при 20 °С (R_{20})	3,9
– то же в водонасыщенном состоянии ($R_{вод}$)	3,9
Водостойкость (K_v)	1,00

Основной задачей исследования являлась оценка изменения предела прочности водонасыщенных асфальтобетонных образцов при расколе на разных стадиях старения.

Кроме того, учитывая, что речь идёт о горячей регенерации асфальтобетона, следовало проверить не снизится ли уплотняемость смеси из разрыхленного состаренного асфальтобетона.

Моделирование процесса старения асфальтобетона в лабораторных условиях можно осуществлять путём прогрева отформованных образцов или образцов из свежеприготовленной асфальтобетонной смеси. Во втором случае процесс существенно ускоряется. Но тогда придётся для каждой прогретой пробы подбирать давление прессования, чтобы образцы всех серий имели близкую плотность. В противном случае результаты испытания будут не сопоставимы, так как по мере старения битума уплотняемость смеси может снижаться. Кроме того, отсутствуют данные о времени прогрева, при котором изменения свойств битума в лабораторных образцах и в покрытии будут идентичны.

Ранее был разработан метод определения числа часов прогрева лабораторных образцов при температуре 90 °С, за которое в битуме произойдут изменения, эквивалентные (в первом приближении) изменениям в битуме, находящемся в покрытие после года его службы в данных климатических условиях – **годовой эквивалент** (N_q) [2,14].

Для климатических условий Чувашии, например, можно принять значение N_q для суммарной энергии активации процесса старения $E = 20$ ккал/моль $N_{q20} = 20$ ч (табл. 6, в [14]). Приняв для исследуемого асфальтобетона $E = 12$ ккал/моль, получили по номограмме на **рис. 4** $N_q = 170$ ч. Следовательно, чтобы получить эквивалентные изменения свойств асфальтобетона после 5 лет эксплуатации покрытия, необходимо прогревать лабораторные образцы при температуре 90 °С в течение $170 \times 5 \approx 900$ ч. В настоящем исследовании был использован данный метод искусственного старения асфальтобетона.

Диаметр образцов-цилиндров был принят 50,5 мм, так как старение небольших образцов происходит быстрее, чем крупных.

Учитывая, что асфальтобетон с более высокой пористостью стареет быстрее, давление прессования подбирали так, чтобы водонасыщение образцов было близко к верхнему допустимому пределу по ГОСТ 9128-97 (см. табл. 2).

Таблица 2

Наименование показателя	Значение для давления прессования, МПа	
	30	25
γ , г/см ³	2,34	2,31
W , %	3,8	4,7

Исходя из полученных данных, давление при прессовании было принято 25 МПа.

Всего было изготовлено 28 образцов со средней плотностью ($2,31 \pm 0,01$) г/см³ и водонасыщением ($4,8 \pm 0,3$) %. Образцы были разделены на 7 серий по 4 в каждой; серии № 1 и № 1* – контрольные (образцы этих серий не прогревали); образцы серий № 2 и № 2*, № 3, № 4, № 5 прогревали в термостате при температуре 90 °С соответственно 150, 300, 600 и 900 ч.

Образцы испытывали на раскол при 20 °С и скорости холостого хода поршня 50 мм/мин [15] как в сухом состоянии (серии № 1* и № 2*), так и водонасыщенном состоянии (остальные серии). Испытания проводили не ранее, чем через сутки после окончания прогрева, чтобы исключить влияние обратимых физических изменений в битуме [2].

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Предел прочности при растяжении при расколе (R_p), МПа, образцов из серии испытаний, №						
1*	1	2*	2	3	4	5
1,11± 0,07	1,14± 0,03	1,26± 0,01	1,33± 0,05	1,53± 0,04	1,95± 0,05	1,89± 0,06

Для проверки чувствительности уплотняемости смеси к степени старения асфальтобетона образцы из серий №№ 1, 4 и 5 были переформованы при давлении 25 МПа и определена их плотность.

Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4

Средняя плотность, г/см ³ , образцов из серий №		
1	4	5
2,31±0,01	2,29±0,02	2,32±0,01

9. Анализ полученных результатов

Выявлено, что по мере старения асфальтобетона значения R_p водонасыщенных образцов линейно возрастают при прогреве примерно до 700 ч, а затем начинают снижаться.

Возможно, при испытании образцов при температуре 10 °С, как это рекомендовано в [16], перегиб кривой прочности в результате старения наступит при меньшем времени прогрева.

Водостойкость на начальной стадии старения не изменяется и близка к 1; ее снижение возможно после 500-600 ч прогрева.

Повреждений, связанных со снижением коррозионной стойкости верхнего слоя асфальтобетона, можно ожидать только через 8-9 лет эксплуатации. В случае применения более плотного асфальтобетона, соответствующего ГОСТ 9128-97, появление коррозионных повреждений прогнозируется только через 10-12 лет, что соответствует данным [1].

Как следует из таб. 4, даже после 900 ч прогрева образцов уплотняемость смеси при их переформовки не снизилась.

Ниже рассматривается вопрос о состоянии состаренного асфальтобетона, при котором целесообразно его омолаживание.

Анализ работ, выполненных в ЦНИЛ Гушосдора (1967 г.), и [1] показал, что 50-60-процентное увеличение прочности при сжатии состаренных образцов является критическим. В 1972 г. автором было предложено считать пороговым значением для начала работ по восстановлению асфальтобетона (с учётом запаса) 30-процентное увеличение прочности.

Результаты последнего исследования показывают, что только 80-процентное увеличение прочности при расколе водонасыщенных образцов приближается к пороговому значению.

Примечательно также, что у образцов, взятых из покрытий, эксплуатировавшихся в климатической зоне II в течение 15-20 лет с интенсивным движением и не имеющих повреждений, водостойкость оказалась не ниже 0,85-0,90 (А.И. Лысихина, 1962 г.).

Учитывая изложенное, на данном этапе в качестве критерия целесообразности омолаживания асфальтобетона предлагается принять снижение показателя водостойкости до 0,9 и менее.

10. Учёт особенностей, связанных с проведением работ способом термоусиления

Рассмотренные выше вопросы касались в первую очередь применения способов термопрофилирования на дорожных покрытиях, не требующих усиления. В этом случае добавление новой смеси обусловлено необходимостью выравнивания покрытия.

Способ термоусиления (ремикс-плюс) отличается от способа термоукладки тем, что он предусматривает укладку слоя из новой смеси толщиной от 2 см (50 кг/м^2) поверх регенерируемого слоя. Для реализации указанного способа используется термосмеситель – ремиксер НМ 4500 фирмы "Виртген". Толщина слоя из новой смеси в этом случае учитывается при расчёте дорожной одежды.

При термоусилении показатель водостойкость регенерированного слоя теряет свою актуальность, так как функцию слоя износа или защитного слоя будет выполнять слой усиления из плотного асфальтобетона. Вместе с тем, прочностные свойства регенерированного слоя будут влиять

на общий срок службы пакета монолитных слоёв с точки зрения его усталостного растрескивания. В этом случае, повидимому, целесообразно введение пластификатора.

ВЫВОДЫ

На первом этапе эксплуатации верхнего слоя асфальтобетонного покрытия его коррозионная стойкость увеличивается и только потом начинает снижаться.

Для выяснения необходимости омолаживания асфальтобетона в процессе термопрофилирования представляется целесообразным использовать следующую методику:

- извлечение вырубки из старого покрытия с отделением верхнего слоя толщиной 4-5 см;
- изготовление из него переформованных образцов диаметром 50,5 мм согласно п. 6 ГОСТ 12801-98, подбирая давление прессования таким, чтобы получить водонасыщение в пределах 4-5 %;
- испытание части образцов на раскол в сухом и водонасыщенном состоянии для определения водостойкости, желательно при температуре 10 °С

При значении этого показателя ниже 0,90, целесообразно омолаживание асфальтобетона; в противном случае, оставшиеся образцы прогревают при температуре 90 °С в течение 500 ч и испытывают аналогичным образом; при значении водостойкости ниже 0,90, также целесообразно омолаживание асфальтобетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слободчиков Ю.В. Исследование влияния условий эксплуатации на надёжность битумо-минеральных покрытий автомобильных дорог Северного Казахстана. – Автореф. канд. диссерт. – М., 1972. – 32 с.
2. Бахрах Г.С. Старение асфальтовых покрытий и пути его замедления // Дорожно-строительные материалы / Труды Гипродорнии; Вып. 9. – М., 1974. – С. 84-96.
3. Бахрах Г.С. Стратегия ремонта дорожных одежд нежёсткого типа в условиях ограниченного финансирования // Дороги России XXI века. – 2005. – № 1. – С 78-81.

4. Бахрах Г.С. Расчёт усиления дорожных одежд нежёсткого типа по критерию усталостного растрескивания // Наука и техника в дор. отрасли. – 1999. – № 2. – С. 21-25.
5. Бахрах Г.С. Модель оценки срока службы дорожной одежды нежёсткого типа // Наука и техника в дор. отрасли. – 2002. – № 2. – С. 17-20.
6. Бахрах Г.С. Усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий и пути замедления этого процесса. – М., 1980. – 40 с. – (Стр-во и эксплуатация автомоб. дорог: Экспресс-информ. / ЦБНТИ Минавтотдора РСФСР; Вып. 9).
7. Walubita L.F. и др. Preliminary Fatigue Analysis of a common TxDOT Hot mix Asphalt Concrete Mixture. Report № FHWA/TX-05/0-4468-1 // Texas Transportation Institute. – 04.07.2004. – 117 p.
8. Бахрах Г.С., Горлина Г.С., Лупанов А.П. Опыт регенерации асфальтобетонных покрытий способами термопрофилирования. – М., 1985. – С. 1- 13. – (Отечественный производственный опыт: Экспресс-информ. / ЦБНТИ Минавтотдора РСФСР; Вып. 3. Автомоб. дороги).
9. Терморисайклинг. Рекомендации по применению / Проспект фирмы Виртген. – Windhagen, 1993. – 83 с.
10. Бахрах Г.С., Горлина Г.С. Эрастов А.Я. Регенерация асфальтобетонных слоёв дорожных одежд. – М., 1981. – 66 с. – (Стр-во и эксплуатация автомоб. дорог: Обзорн. информ. / ЦБНТИ Минавтотдора РСФСР; Вып. 6).
11. Сюньи Г.К., Билай Л.В. Использование старого асфальтобетона // Автомоб. дороги. – 1970. – № 9. – С. 13-14.
12. Авт. свид-во № 1310361 А1 Кл. С 04 В 26/26. Способ регенерации асфальтобетона / Г.С. Бахрах, В.М. Ольховиков, Г.С. Горлина, А.П. Лупанов, Б.Д. Готовкин, В.А. Слабкий, В.С. Вермул; "ГИПРОДОРНИИ". – Заявл. 11.11.1982, № 3509500/29-33; Опубл. 15.05.1987, Бюл. № 18.
13. Бахрах Г.С., Горлина Г.С., Лупанов А.П. Регенерация верхнего слоя асфальтобетонных покрытий способом термопластификации // Совершенствование конструкций дорожных одежд, технологии их строительства и ремонта. Труды Гипродорнии; Вып. 47. – М., 1985. – С. 113-122.

14. Рекомендации по повышению сроков службы асфальтовых покрытий. Повышение стабильности асфальтовых материалов для различных климатических зон РСФСР / Минавтодор РСФСР. – М.: ГИПРОДОРНИИ, 1975. – 45 с.
15. Бахрах Г.С. Методы испытания асфальтогранулобетона и технологические требования к нему. – Сб. ст. // ТРУДЫ ГП РОСДОРНИИ; Вып. 10. – М.: Фирма ВЁРСТКА, 2000. – С. 115-122.
16. Пособие по строительству асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов (КСНиП 3.06.06 - 88). – М.: Союздорнии, 1991. – 163 с.