

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ С АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТОМ

TECHNIQUE FOR PREPARATION AND PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIX WITH GRANULAR ASPHALT

Д. Г. Игошкин,
заместитель начальника
управления республиканского
дочернего унитарного предприятия
«Белорусский дорожный научно-
исследовательский институт
«БелдорНИИ»,
г. Минск, Беларусь

С. Е. Кравченко,
кандидат технических наук,
заведующий кафедрой
«Строительство и эксплуатация
дорог» Белорусского национального
технического университета,
г. Минск, Беларусь

В статье рассматривается технология приготовления асфальтобетонной смеси с асфальтогранулятом. Исследована усталостная долговечность асфальтобетона, определены сроки службы покрытий, устроенных из асфальтобетонной смеси с асфальтогранулятом. Установлено максимально допустимое содержание асфальтогранулята в составе асфальтобетонной смеси.

The article considers the technique for preparation and properties of asphalt concrete mix with granular asphalt. The fatigue life of asphalt concrete has been investigated and the service lives of pavements made of asphalt concrete mix with granular asphalt have been determined. The maximum allowable content of granular asphalt in the asphalt concrete mix composition has been established.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации асфальтобетонное покрытие подвергается воздействию солнечной радиации, кислорода, воды и растворенных в ней химических реагентов, попеременному замораживанию и оттаиванию, что в совокупности приводит к необратимым изменениям структуры асфальтобетона, сопровождающимся ухудшением его прочностных и деформационных свойств, и, соответственно, к снижению его усталостной прочности [1–3].

Изменения, происходящие в структуре асфальтобетона, в первую очередь обусловлены старением входящего в его состав битума. При этом старение битума происходит во время технологической подготовки битума (нагрев битума до рабочей температуры), перемешивания его с нагретыми минеральными материалами, хранения, транспортирования, укладки асфальтобетонной смеси и последующей эксплуатации асфальтобетонного покрытия (рис. 1).

Минеральные же компоненты асфальтобетона практически не изменяют своих характеристик в процессе устройства покрытия, эксплуатации и фрезерования с получением асфальтогранулята [4], что позволяет классифицировать последний как полноценный строительный материал, применение которого технически целесообразно и экономически оправдано.

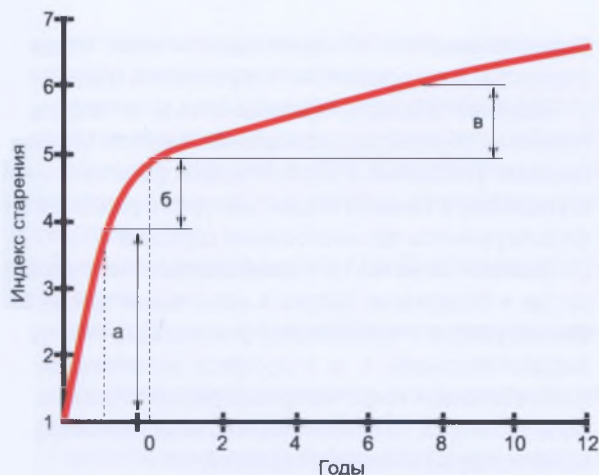


Рисунок 1 – Изменение индекса старения битума во время приготовления (а), транспортирования и укладки смеси (б) и эксплуатации асфальтобетонного покрытия (в)

В странах Западной Европы, наряду с традиционными горячими асфальтобетонными смесями, широко применяются асфальтобетонные смеси с использованием асфальтогранулята. При этом их объем достигает около 40 % от объема всех выпускаемых асфальтобетонных смесей. Необходимость применения асфальтогранулята вызвана как экологическими аспектами, так и высокой стоимостью и нехваткой материалов, используемых при производстве асфальтобетонных смесей.

В последнее время асфальтогранулят широко применяется и в нашей республике. Для этого имеется соответствующая нормативная база. Согласно СТБ 1705 [5], асфальтогранулят представляет собой зернистый минеральный материал, покрытый органическим вяжущим, с крупностью зерен до 40 мм. Его получают в процессе измельчения лома асфальтобетонных покрытий и оснований городских улиц и автомобильных дорог об-

щего пользования, проездов, пешеходных путей, велодорожек и прочих объектов благоустройства территорий в дробильных установках, а также при холодном фрезеровании асфальтобетонных покрытий и применяют для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог и объектов благоустройства, а также для других видов дорожных работ.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ ИЗ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА

Для проведения экспериментальных исследований были отобраны десять различных проб асфальтогранулята, полученного путем фрезерования асфальтобетонных покрытий, эксплуатируемых на протяжении не менее 6 календарных лет.

Все отобранные пробы асфальтогранулята соответствовали требованиям СТБ 1705 [5].

Физико-механические свойства и долговечность асфальтобетона в первую очередь определяются зерновым составом минеральной части и содержанием битума.

Результаты определения состава проб асфальтогранулята (зернового состава минеральной части и содержания битума), выполненные в соответствии с СТБ 1115 [6], приведены в таблице 1.

Зерновой состав минеральной части исследованных проб асфальтогранулята соответствовал требованиям, предъявляемым к зерновым составам плотных асфальтобетонов по СТБ 1033 [4].

С целью исследования возможности разработки практических рекомендаций по применению асфальтогранулята в качестве исходного сырья при приготовлении горячих асфальтобетонных смесей были проведены лабораторные испытания образцов, полученных методом формования исходного асфальтогранулята, разогретого до температуры 140 °С–160 °С.

Таблица 1 – Состав проб асфальтогранулята

Номер пробы	Полные проходы через сито, %										Содержание битума, %
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
1	100	100	99	76	55	43	32	26	16	14	5,8
2	95	89	79	70	63	55	42	25	8	7	5,2
3	93	68	52	43	40	35	31	24	7	6	4,9
4	93	72	50	32	23	20	16	13	6	6	5,8
5	96	83	70	50	43	38	30	20	8	7	5,2
6	95	84	71	49	34	28	21	18	10	9	5,4
7	100	100	82	49	44	38	30	24	15	9	5,0
8	92	84	65	41	31	22	17	12	7	6	4,8
9	93	77	54	30	21	19	17	15	9	8	4,9
10	96	87	75	53	44	37	20	13	10	9	5,9

Образцы изготавливались в соответствии с СТБ 1115 [6]. Результаты определения физико-механических свойств образцов, изготовленных из проб асфальтогранулята, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства образцов из асфальтогранулята

Номер пробы	Плотность, г/см ³	Водонасыщение, %	Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа	Предел прочности при сдвиге при 50 °С, МПа	Предел прочности при растяжении при 0 °С, МПа
1	2,40	5,6	2,28	2,55	3,52
2	2,37	6,5	4,13	2,58	2,94
3	2,41	5,6	3,7	2,89	2,82
4	2,43	4,3	2,30	2,62	3,55
5	2,38	6,4	4,10	2,50	2,91
6	2,44	3,5	2,18	2,54	3,50
7	2,37	6,8	4,03	2,18	2,90
8	2,34	5,7	2,6	2,8	3,74
9	2,38	5,4	1,67	1,9	2,65
10	2,24	6,9	1,36	2,4	2,77

Результаты определения реологических и коррозионных свойств образцов, изготовленных из проб асфальтогранулята, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Реологические и коррозионные свойства образцов из асфальтогранулята

Номер пробы	Индекс сопротивления пластическим деформациям	Индекс трещиностойкости	Коэффициент водостойкости после 28 сут
1	3,50	0,35	0,56
2	3,86	0,22	0,70
3	3,90	0,28	0,65
4	3,0	0,32	0,60
5	3,90	0,25	0,68
6	3,10	0,29	0,56
7	3,50	0,24	0,71
8	3,85	0,15	0,44
9	2,9	0,23	0,42
10	2,5	0,20	0,34

Полученные результаты определения физико-механических свойств показали, что образцы, приготовленные из асфальтогранулята, обладают более высокими сдвигоустойчивостью, пределом прочности при сжатии и растяжении по сравнению с обычными плотными асфальтобетонами. Асфальтобетоны, приготовленные из

асфальтогранулята, обладают недостаточной трещиностойкостью и водостойкостью в агрессивной среде.

Свойства образцов, приготовленных из асфальтогранулята, обусловлены повышением вязкости битума в процессе устройства и эксплуатации асфальтобетонного покрытия, а также на стадии повторного разогрева асфальтогранулята при изготовлении образцов.

Важным является то обстоятельство, что зерновой состав и содержание битума в испытанных пробах асфальтогранулята сопоставимы с исходными плотными асфальтобетонами, т. е. в процессе эксплуатации асфальтобетонных покрытий происходят качественные изменения битума, но не происходят количественные изменения исходных компонентов смесей.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА

Долгое время ремонт разрушенных покрытий автомобильных дорог осуществлялся путем укладки слоя усиления. При этом дефекты старого покрытия не устранялись, они копировались на новом покрытии, что значительно снижало эффективность ремонтных работ. Поэтому в последние годы перед укладкой нового слоя существующее асфальтобетонное покрытие с большим количеством дефектов все чаще удаляют фрезерованием. Продукты этого процесса могут вывозиться на свалку, использоваться на месте для получения нового основания или регенерироваться на асфальтобетонных заводах (АБЗ) [3].

Существует несколько технологий, позволяющих использовать сфрезерованный асфальтобетон – асфальтогранулят – на месте при устройстве слоев покрытий: Reshape, Repave, Remix.

Однако эти технологии обладают рядом недостатков: относительно низким качеством уложенного материала из-за трудностей с соблюдением рецептуры смеси, интенсивным старением вяжущего в асфальтогрануляте при нагреве инфракрасными горелками и необходимостью обязательного устройства дополнительных защитных слоев.

В отличие от приведенных выше технологий, введение асфальтогранулята в состав горячих асфальтобетонных смесей, выпускаемых на АБЗ, позволяет:

- использовать весь снятый с дороги асфальтобетон;
- широко применять добавки каменных материалов, битума и пластификаторов при регенерации;
- получать готовую смесь заданного качества и укладывать ее на участках дорог с соответствующей интенсивностью движения;
- экономить энергию и материальные ресурсы (из опыта строительства в США, стоимость ремонта уменьшается на 20 %–30 %).

Кроме перечисленных достоинств, регенерация асфальтобетона на заводе позволяет:

- повысить конструктивную прочность дорожного покрытия без увеличения его толщины;
- исключить необходимость переустановки бордюрного камня, люков колодцев и др. (в городских условиях);
- сохранить прежнюю высоту габарита проезда для транспортных средств под мостами, эстакадами, путепроводами.

Технология регенерации на АБЗ [7] включает следующие этапы:

- снятие старого асфальтобетонного покрытия фрезерованием;
- доставку асфальтогранулята автотранспортом на передвижной или стационарный АБЗ;
- приготовление новой асфальтобетонной смеси из асфальтогранулята с добавлением каменных материалов, вяжущего и специальных добавок.

Для регенерации могут использоваться как обычные асфальтосмесительные установки, дополненные оборудованием для хранения, транспортирования и дозирования старого асфальтобетона, так и специальные.

Асфальтосмесительные установки, работающие по классической башенной схеме, дополняются системами хранения, дозирования и транспортирования асфальтогранулята, состоящими из приемного бункера с питателем, конвейера и накопительного бункера с питателем.

Схема асфальтосмесительной установки с дополнительным оборудованием для использования асфальтогранулята представлена на рисунке 2.

Исходные каменные материалы предварительно дозируют в агрегате питания 6, высушивают и нагревают в сушильном барабане 8, затем подают элеватором в смеситель 9, где сортируют на фракции, дозируют и перемешивают с битумом, минеральным порошком и уловлен-

ной пылью. Дробленый асфальтогранулят загружается в приемный бункер, из которого питателем он подается на конвейер 10.

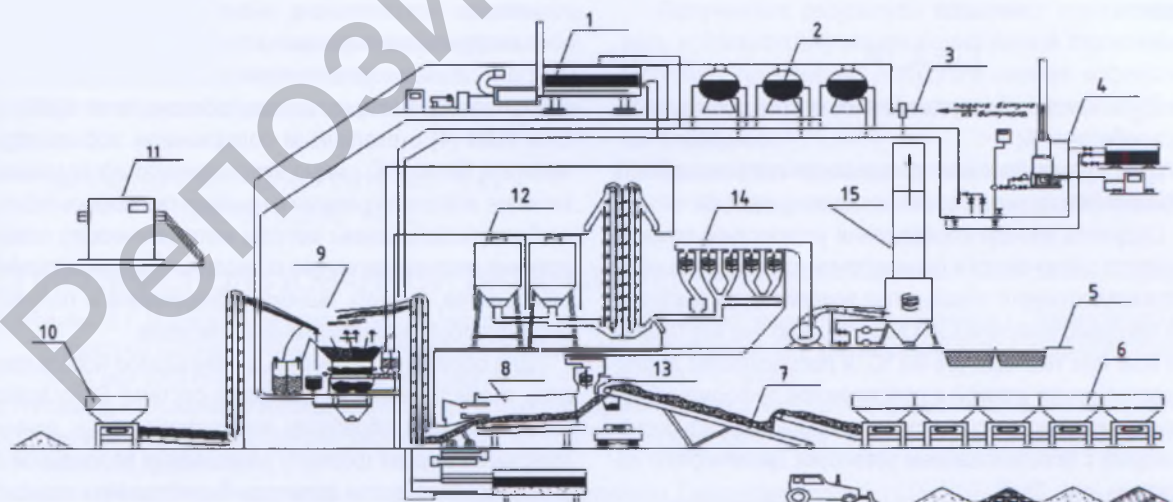
В зависимости от принятой технологии асфальтогранулят может подаваться конвейером в горячий элеватор, весовой бункер или мешалку.

При загрузке асфальтогранулята в горячий элеватор его нагрев обеспечивается длительным контактом с горячими каменными материалами. Недостатком такой схемы является загрязнение ковшей, сит грохота и других элементов оборудования битумом. Кроме того, возможно неравномерное поступление в смеситель старого асфальтобетона, приводящее к колебаниям содержания битума в смеси.

При подаче асфальтогранулята в весовой бункер гарантируется его точная дозировка. Однако при контакте асфальтогранулята с горячими каменными материалами возможно загрязнение бункера битумом, что также будет сказываться на точности дозирования материалов. Так как время контакта асфальтогранулята с горячими материалами в весовом бункере невелико, то его нагрев будет продолжаться в смесителе при перемешивании с нагретыми минеральными материалами.

При подаче асфальтогранулята непосредственно в смеситель сложности, связанные с загрязнением элеватора или накопительных бункеров, не возникают. Однако и в этом случае разогрев холодного асфальтогранулята в смесителе происходит за счет нагретых каменных материалов.

Асфальтогранулят может добавляться в новую смесь в количестве до 30%–50% по массе, что позволяет восстановить свойства состарившегося битума и скорректировать гранулометрический состав. Часто этого бывает



1 – нагреватель битума; 2 – битумные цистерны; 3 – подача битума из битумохранилища; 4 – нагреватель жидкого теплоносителя; 5 – шламоотстойник; 6 – агрегат питания; 7 – конвейер наклонный; 8 – сушильный барабан; 9 – смеситель; 10 – линия подачи асфальтогранулята; 11 – кабина оператора; 12 – агрегат минерального порошка; 13 – 1-я ступень (предварительная) очистки дымовых газов; 14 – 2-я ступень очистки дымовых газов; 15 – 3-я ступень очистки дымовых газов

Рисунок 2 – Технологическая схема асфальтосмесительной установки

достаточно для того, чтобы рекомендовать регенерированную асфальтобетонную смесь для устройства верхних слоев покрытий.

Результаты исследований влияния асфальтогранулята на физико-механические свойства горячего асфальтобетона изложены в [3, 7].

Асфальтобетоны из горячих смесей, приготовленных с использованием асфальтогранулята, имеют более высокую сдвигоустойчивость по сравнению с традиционными плотными асфальтобетонами, при этом обладают низкой температурной и усталостной трещиностойкостью, что обусловлено старением битума, содержащегося в асфальтогрануляте, в процессе устройства асфальтобетонного покрытия и его эксплуатации.

С увеличением содержания асфальтогранулята в составе смеси значение коэффициента водостойкости увеличивается, а значение коэффициента морозостойкости уменьшается. Увеличение толщины битумных пленок позволяет снизить отрицательное влияние асфальтогранулята на коррозионную устойчивость асфальтобетона.

Асфальтобетонные смеси, содержащие до 20 % асфальтогранулята, обладают достаточной долговечностью и согласно [4] могут быть использованы для устройства покрытий автомобильных дорог.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА С АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТОМ

За расчетный срок службы асфальтобетона $T_{уст}$ принимают период времени безотказной работы материала покрытия без появления усталостных трещин под действием циклической нагрузки. При этом по критерию усталостной повреждаемости он определяется по формуле

$$T_{уст} = D_{кр} / D_n \quad (1)$$

где $D_{кр}$ – критическая усталостная повреждаемость асфальтобетона, %;

D_n – прогнозируемая усталостная повреждаемость асфальтобетона вновь устроенного покрытия, %.

Сущность метода определения усталостной повреждаемости заключается в определении изменения высоты асфальтобетонного образца под воздействием импульсной нагрузки, действующей параллельно его вертикальной оси, при температуре 40 °С и последующем анализе соотношения упругой и пластической деформаций [8]. Испытания проводятся по схеме циклического одноосного сжатия с использованием установки циклического нагружения (рис. 3).

Продолжительность испытания – 1800 циклов нагружения образца давлением 100 кПа в течение 1 с с паузой (разгрузкой) продолжительностью 1 с.

Обработка полученных результатов и расчет прогнозируемой усталостной повреждаемости асфальтобетонного образца выполняется программой GREEP.



1 – испытательная рама; 2 – нагрузочные пластины; 3 – прибор циклического нагружения; 4 – датчики деформации

Рисунок 3 – Установка циклического нагружения

Значение критической усталостной повреждаемости асфальтобетона назначается согласно ДМД 02191.2.042 [8].

С целью определения усталостной повреждаемости асфальтобетона, приготовленного с использованием асфальтогранулята, были проведены испытания образцов согласно ДМД 02191.2.042 [8].

Состав минеральной части асфальтобетонной смеси и асфальтогранулята, которые использовались при исследовании:

- щебень фр. 10–20 мм – 30 %;
- щебень фр. 5–10 мм – 15 %;
- отсев – 22 %;
- минеральный порошок – 8 %.

Для оценки усталостной долговечности образцы изготавливались из асфальтобетона типа ЦМБг по СТБ 1033 [4] с различным содержанием асфальтогранулята и битума. С целью всестороннего исследования влияния асфальтогранулята на свойства асфальтобетона были использованы методы математического планирования эксперимента, что позволило сократить количество опытов, снизить ошибку эксперимента и получить многофакторные математические модели.

Для обработки полученных результатов использовалась статистическая графическая система Statgraphics. По результатам обработки экспериментальных данных программа выдает формулу зависимости переменной от факторов. В качестве факторов были приняты содержание асфальтогранулята и модуль битума. В качестве переменной принят расчетный срок службы по критерию усталостной повреждаемости.

Результаты определения расчетного срока службы асфальтобетона типа Б по критерию усталостной повреждаемости приведены в таблице 4 и на рисунке 4.

Таблица 4 – Расчетный срок службы асфальтобетона, приготовленного с различным содержанием асфальтогранулята

Модуль битума	Содержание асфальтогранулята, %	Плотность P , г/см ³	Остаточная пористость $P_{ост}$, %	Расчетный срок службы по критерию усталостной повреждаемости, лет
2,5	0	2,48	2,4	7,6
2,3	0	2,47	2,6	6,4
2,5	20	2,48	2,5	7,3
2,3	40	2,46	3,0	4,5
2,3	20	2,47	2,8	6,0
2,5	40	2,47	2,7	5,6
2,7	0	2,49	2,2	8,3
2,7	40	2,48	2,3	6,4
2,7	20	2,49	2,3	8,0

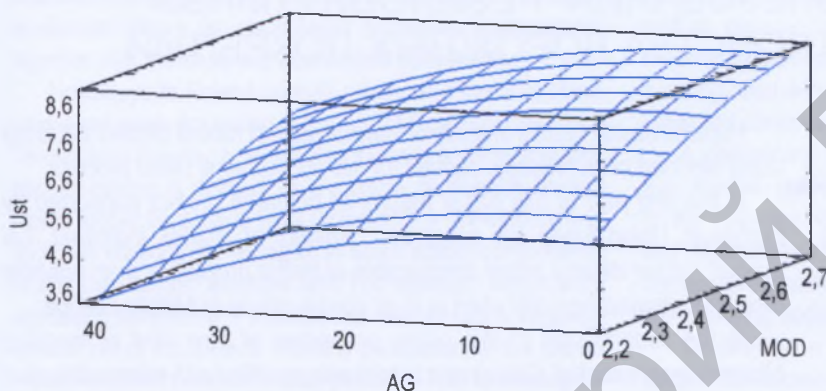


Рисунок 4 – Зависимость расчетного срока службы асфальтобетона от модуля битума и содержания асфальтогранулята

В результате обработки экспериментальных данных с использованием пакета статистической обработки Statgraphics Plus получена аналитическая зависимость для определения расчетного срока службы асфальтобетона по критерию усталостной повреждаемости в зависимости от модуля битума и содержания асфальтогранулята:

$$Ust = -40,95 + 34,0 \cdot MOD + 0,015 \cdot AG - 5,83 \times \times MOD^2 - 0,0016 \cdot AG^2,$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют классифицировать асфальтогранулят как полноценный строительный материал, применение которого в составе асфальтобетонных смесей технически целесообразно и экономически оправдано.

При этом долговечность дорожных покрытий обеспечивается при содержании асфальтогранулята не более 20 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Игошкин, Д. Г. Исследование влияния асфальтогранулята на свойства горячих асфальтобетонных смесей // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли», 30–31 мая 2013 г. / Департамент «Белавтодор», БНТУ. – Минск, 2013. – С. 90–95.
- Игошкин, Д. Г. Применение асфальтогранулята при устройстве асфальтобетонных покрытий // Мир дорог. – 2014. – № 73. – С. 65–69.
- Строительно-технические свойства дорожного асфальтового бетона : учебное пособие / Э. В. Котлярский; под ред. Э. В. Котлярского. – М., 2004. – 194 с.
- Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : СТБ 1033-2016.
- Асфальтогранулят для транспортного строительства. Технические условия : СТБ 1705-2006.
- Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2013.
- Гезенцев, Л. Б., Горелышев, Н. В., Богуславский, А. М., Королев, И. В. Дорожный асфальтобетон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
- Рекомендации по повышению усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : ДМД 02191.2.042-2010.

Статья поступила в редакцию 02.05.2016.