

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

(ЧАСТЬ 1. УПЛОТНЕНИЕ)

Асфальтобетон является материалом, который наиболее часто применяется для ремонта и строительства покрытий и оснований автомобильных дорог. Российский ГОСТ 9128 определяет классификацию и технические требования к различным видам, типам, маркам асфальтобетона, в зависимости от целей его применения.

В то же время многие специалисты обращают внимание на то, что некоторые нормы и методы испытания асфальтобетона технически, морально устарели и не в полной мере отражают его поведение в условиях эксплуатации. К примеру, испытание на прочность, предусмотренное ГОСТ 12801, происходит разрушающим методом, но, как известно, в условиях эксплуатации асфальтобетон не работает в области таких высоких деформаций и при таких низких скоростях нагружения. В данной статье рассмотрен метод изготовления асфальтобетонных образцов на гираторе-компакторе, который применяется в ЗАО «ВАД» для оценки как технологических свойств асфальтобетонной смеси, так и некоторых качественных характеристик асфальтобетона.

Важной особенностью в определении физико-механических характеристик асфальтобетона является выбор метода изготовления образцов из асфальтобетонной смеси. Согласно методике ГОСТ 12801, стандартные образцы из-

готавливаются путем приложения к ним постоянной нагрузки – 40 МПа в течение 3 минут, в случае содержания щебня более 50% образцы предварительно подвергают вибронагружению и далее доуплотняют на прессе под нагрузкой в 20 МПа. Данный способ имеет ряд существенных недостатков: под действием постоянной нагрузки не происходит перераспределения частиц смеси, что приводит к частичному раздавливанию щебня, не отражает и не моделирует уплотнение, которое происходит на дороге в процессе укатки катками. В результате мы получаем асфальтобетоны с разными структурами, которые формируются за счет различной ориентации и частичной раздробленности зерен минерального материала.

В зарубежной литературе (1. A.M. Hartman, M.D. Gilchrist and G. Walsh. *Effect of mixture compaction on indirect tensile stiffness and fatigue. Journal Of Transportation Engineering / September / October 2001. P. 370–378*; 2. Masahiko Iwama. *Influence of Specimen Size and Orientation on the Mechanical Properties of Laboratory Compacted Asphalt Specimens. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Master of Philosophy – July 2009*) проводилась оценка и сравнение различных методов получения образцов, в результате было определено, что роликовый компактор и гиратор наиболее точно имитируют реальный процесс уплотнения, поскольку под действием относительно небольшой нагрузки происходят значительные сдвиговые деформации, которые позволяют достигать равномерного распределения, перемещения компонентов смеси и переориентации агрегатов. Другие методы уплотнения (Маршалл, Пресс), создают только прямую нагрузку, что приводит к меньшим

деформациям и неравномерному распределению компонентов смеси, выдавливанию вяжущего с поверхности каменных материалов, снижению толщины битумной пленки и, как следствие, значительному повышению жесткости смеси.

Более подробно вопрос выбора и оптимизации способа изготовления лабораторных образцов изучался в США (1. NCHRP Report 573 // *Verification of Gyration Levels in the Superpave Ndesign Table. Brian D. Prowell, E. Ray Brown. National Center For Asphalt Technology 2007*; 2. NCHRP Web Document 34 (Project D9-9[1]): *Contractor's Final Report. Literature Review: Verification of Gyration Levels in the Superpave Ndesign Table*) при разработке системы Superpave. В результате при подборе состава асфальтобетонных смесей для проведения исследовательских работ и рутинного контроля качества выпускаемой асфальтобетонной смеси используется гиратор-компактор.

Принцип изготовления образцов на гираторе-компакторе следующий (рис. 1): горячая асфальтобетонная смесь взвешивается и засыпается в предварительно подогретую специальную стальную форму, накрывается вкладышем и устанавливается в гиратор. Далее выполняется уплотнение путем вращения относительно вертикальной оси заложенной формы под постоянным углом наклона (в США – 1,16°, в Европе – 0,82°) и с приложением вертикального давления 600 кПа, что примерно соответствует давлению колеса автомобиля на покрытие. Смесь подвергается сдвиговым деформациям, а уплотнение происходит без разрушения, дробления, изменения зернового состава, в отличие от процесса изготовления образцов при постоянном давлении на прессе стандартным способом. В процессе работы гиратора на мониторе компьютера в виде числовых значений и графиков отображаются высота, плотность, остаточная пористость образца и количе-

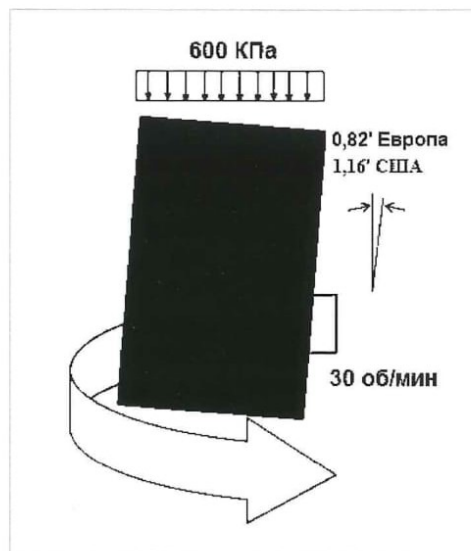


Рис. 1. Схема работы гиратора-компактора

Интенсивность движения ESALs, млн	Параметры уплотнения, число оборотов гиратора			Характеристика типичных условий движения
	$N_{initial}$	N_{design}	N_{max}	
< 0,3	6	50	75	Легковое движение. Местные дороги и городские улицы, на которых проезд грузовых автомобилей запрещен
0,3–03	7	75	115	Среднее движение на коллекторных дорогах и большинстве дорог графств
3–30	8	100	160	Интенсивность от средней до высокой. Городские улицы, дороги штатного значения, некоторые дороги федерального значения
> 30	9	125	205	Высокая интенсивность. Большая часть междуштатных дорог, полосы замедленного грузового движения на подъеме

Табл. 1. Требования к параметрам уплотнения в зависимости от интенсивности и условий движения по системе Superpave
Примечание: ESALs (Equivalent Single Axle Loads) – суммарное приведенное к расчетной нагрузке число проездов осей с нагрузкой 80кН

ство оборотов. На сегодняшний день страны Европы, США, Канада, Австралия применяют гиратор-компактор для изготовления образцов, оценки объемно-весовых и физико-механических характеристик асфальтобетона.

В США с использованием гиратора осуществляется подбор состава асфальтобетонной смеси по системе Superpave. Согласно данному подходу, смесь оптимального зернового состава должна содержать 4% пустот после заданного, проектного (N_{design}) числа оборотов гиратора. Проектное число оборотов гиратора задается в зависимости от интенсивности движения (см. табл. 1). Фактически подразумевается, что плотность образца после N_{design} проектного числа оборотов гиратора будет соответствовать плотности асфальтобетона в покрытии через два года эксплуатации. Более подробно о методе подбора Superpave и параметрах уплотнения с использованием гиратора можно узнать из статьи Б.С. Радовского (Радовский Б.С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв // Дорожная техника. Каталог-справочник. 2007. С. 86–99) и в публикации «Горячие асфальтовые смеси, материалы, подбор составов смесей и строительство автомобильных дорог в северной Америке. Передовой зарубежный опыт» (Национальный центр по асфальтовой технологии (NAPA), третье изд., Росавтодор, 2009. 411 с.).

Из табл. 1 видно, что чем выше интенсивность движения, тем больше требуемое число оборотов гиратора. Такие данные были получены в результате обширной многолетней исследовательской программы, проводимой в США с нача-

ла 1990-х годов и которая продолжается по сегодняшний день. В одном из таких отчетов (Anderson R.M., Turner P.A., Peterson R.L., Mallick R.B. NCHRP Report 478 – Relationship of Superpave Gyrotory Compaction Properties to HMA Rutting Behavior. Washington, DC, 2002) описываются взаимосвязь между колеобразованием в покрытии и количеством оборотов гиратора и объемно-весовыми характеристиками образцов, получаемых при уплотнении асфальтобетонной смеси. Одним из первых успешных предложений по оценке устойчивости асфальтобетонной смеси к колеобразованию через количество оборотов гиратора был коэффициент наклона кривой уплотнения (формула 1) – коэффициент уплотняемости.

$$K = \frac{P_{des} - P_{ini}}{\log N_{des} - \log N_{ini}} \times 100\% \quad (1)$$

где K – коэффициент уплотняемости; P_{des} – плотность образца при количестве оборотов N_{design} проектного уровня; P_{ini} – плотность образца при количестве оборотов $N_{initial}$ начальном уровне; N_{des} , N_{ini} – число оборотов гиратора на проектном и начальном уровне (см. табл. 1)

Согласно данным вышеуказанного отчета, между коэффициентом уплотняемости и характеристиками асфальтобетона, в том числе модулем жесткости, ползучестью (склонностью к колеобразованию), существуют взаимосвязь. Чем ниже коэффициент, тем больше смесь склонна к уплотняемости, тем быстрее смесь уплотнится под катками и впоследствии будет деформироваться под движением автомобильного транспорта.

Так, смеси с меньшим содержанием щебня (замельченные) имеют мень-

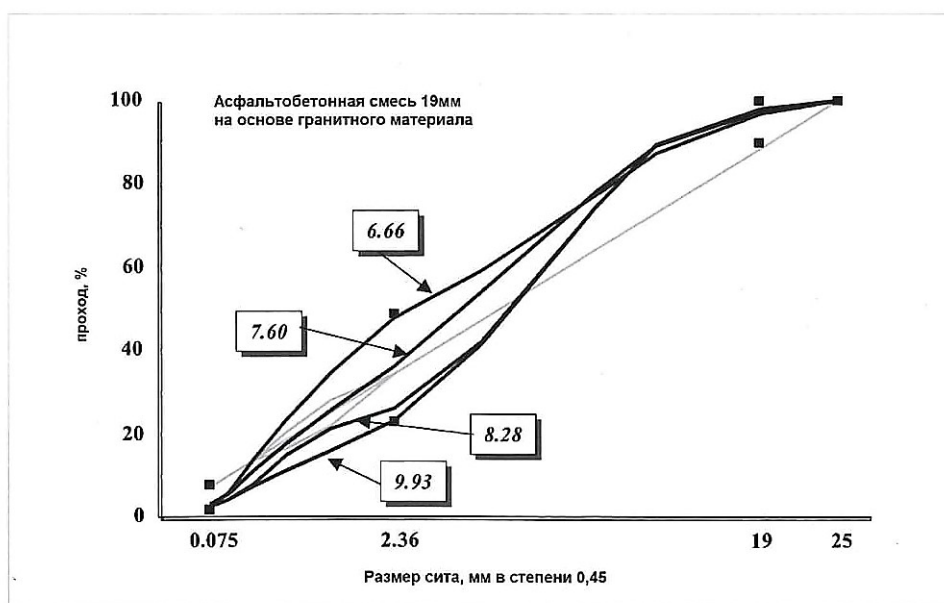


Рис. 2. Воздействие зернового состава на коэффициент уплотняемости

Наименование смеси	Оборудование / Способ получения	Плотность, г/см ³	Водонасыщение, %	Модуль жесткости, МПа	Соотношение с модулем жесткости на дороге, %
м/з плотный Тип А на основе ПБВ 60	Уплотнение на дороге	2,67	2,4	890	100
	Роликовый компактор	2,66	2,8	1170	131
	Гиратор-компактор d = 100 мм	2,67	2,5	1485	167
	Гиратор-компактор d = 150 мм (из образца выпиливался керн d = 100 мм)	2,67	2,1	1440	162
	Пресс + вибростол ГОСТ 12801	2,67	2,3	2115	238
м/з плотный Тип А на основе битума БДУ 70/100	Уплотнение на дороге	2,66	2,6	1970	100
	Гиратор-компактор d = 100 мм	2,66	2,4	3040	154
	Пресс + вибростол ГОСТ 12801	2,67	2,3	4320	219
м/з плотный Тип А на основе битума БНД 60/90 + модификатор	Уплотнение на дороге	2,67	2,1	2215	100
	Гиратор-компактор d = 100 мм	2,66	2,4	3430	162
	Пресс + вибростол ГОСТ 12801	2,65	2,8	4680	211

Табл. 2. Сравнение способов изготовления образцов асфальтобетонной смеси с фактическим результатами получаемыми при уплотнении на дороге

ший коэффициент уплотняемости. На рис. 2 приведены кривые зернового состава асфальтобетонной смеси 19 мм, на основе гранитного материала с различным содержанием щебня. Смеси, содержащие большее количества природного песка/гравия, также обладают меньшим коэффициентом уплотняемости.

На рис. 3 приведен график зависимости коэффициента уплотняемости и модуля сдвига G* при температуре

40°C и сдвиговой деформации γ_{perm} при циклическом нагружении. Из графика видно, что при увеличении коэффициента уплотняемости также возрастает модуль сдвига асфальтобетона и снижается деформация (увеличивается стойкость к колееобразованию). Подобные зависимости были получены в разных проектах, но они не давали достаточной точности, хорошей корреляции, а самое главное, не учитывалось количество вовлеченного вяжущего в асфальтобетонную смесь.

В результате для прогнозирования свойств асфальтобетона и его поведения было рассмотрено и предложено множество различных параметров, рассчитываемых по количеству оборотов при уплотнении с использованием гиратора и по объемно-весовым характеристикам асфальтобетона (плотность, содержание пустот), но наиболее точным оказалось выражение (формула 2) – коэффициент уплотняемости, учитывающий количество пустот (остаточную пористость) в уплотненном образце.

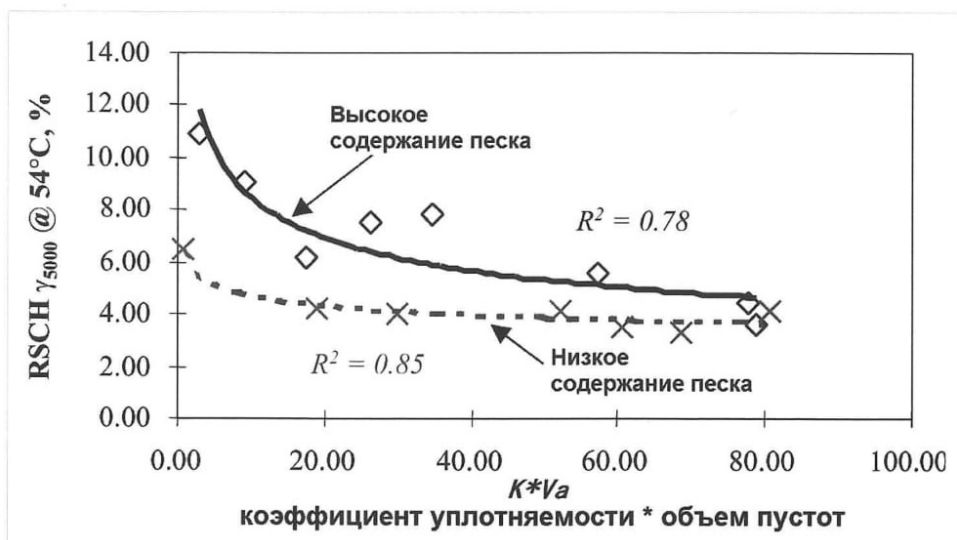


Рис. 3. График зависимости модуля сдвига и сдвиговой деформации от коэффициента уплотняемости

$$K \times V_a \quad (2)$$

где K – коэффициент уплотняемости смеси по формуле (1); V_a – объем пустот (остаточная пористость) в уплотненном асфальтобетонном образце при N_{des} .

На рис. 4 представлены зависимости сдвиговой деформации при испытании циклическим нагружением от коэффициента уплотняемости и объема пустот. При этом смеси были разделены на два вида – с низким и высоким содержанием природного песка, поскольку наличие большого количества природного песка в смеси в значительной степени увеличивает склонность к колееобразованию.

В целом наблюдается следующая тенденция: чем выше значение коэффициента уплотняемости, умноженного на объем пустот у асфальтобетонной смеси, тем более устойчив будет асфальтобетон к пластическим деформациям, колееобразованию в покрытии автомобильной дороги. При этом немаловажной остается проблема учета вязкости вяжущего, которое применяется для изготовления образцов, поскольку, как показали эксперименты и литературный обзор, гиратор не чувствителен к изменению вязкости битума. Фактически, при уплотнении смесей одного и того же состава, но с применением битумов разных марок (в том числе ПБВ), мы получим аналогичные результаты по объемно-весовым характеристикам при одинаковой затраченной работе на уплотнение. Другими словами, смесь уплотнится до одной и той же плотности за одинаковое число оборотов.

Проанализировав результаты зарубежных исследований, можно сделать вывод, что гиратор-компактор уже на стадии проектирования позволяет оценивать склонность смеси к колееобразованию (накоплению пластических деформаций). При этом прибор имеет значительную чувствительность к структуре минерального остова. В то

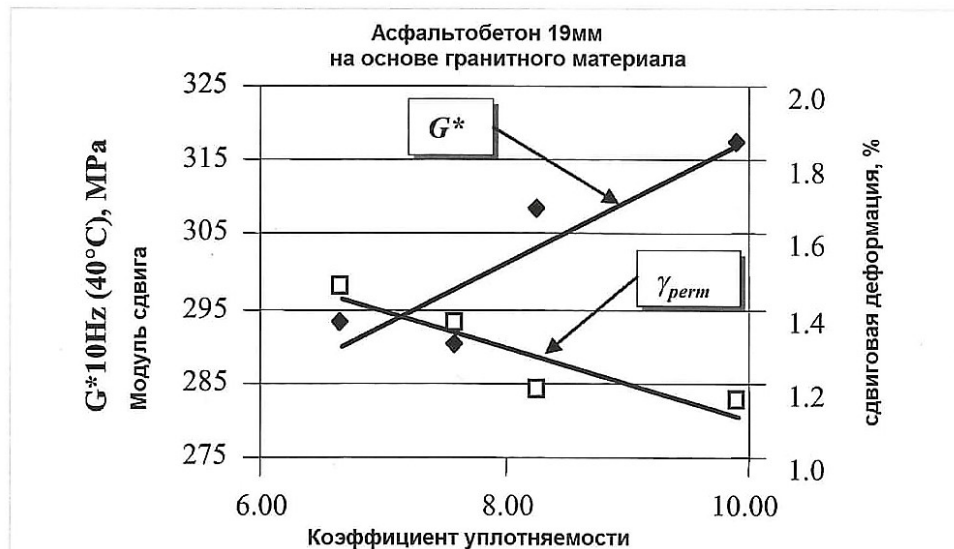


Рис. 4. Взаимосвязь коэффициента уплотняемости, объема пустот и деформации сдвига при циклическом нагружении (проект NCHRP 9-7)

же время необходимо помнить, что не учитывается вязкость применяемого битума, и в дальнейшем (например, для ранжирования смеси в зависимости от применяемого вяжущего) необходимо провести испытания на устойчивость к колееобразованию.

В центральной лаборатории ЗАО «ВАД» для контроля качества и выполнения исследовательских работ используется гиратор-компактор фирмы COOPER

Technology (рис. 5). Мы провели ряд экспериментов по анализу выпускаемых нами смесей (соответствующих ГОСТ 9128) применительно к информации, полученной из зарубежных источников и приведенной выше. В первую очередь, было проведено сравнение способов изготовления асфальтобетонных образцов в лабораторных условиях с фактическими данными, получаемыми при уплотнении катками на дороге путем определения модуля жесткости (упруго-

№	Наименование показателя	Наименование смеси			
		м/з Тип А № 1 с содерж. щебня 56% и частиц <0,63мм – 17%, <0,071мм – 8%	м/з Тип А № 2 с содерж. щебня 60% и частиц <0,63мм – 15%, <0,071мм – 6%	м/з Тип А № 3 с содерж. щебня 60% и частиц <0,63мм – 20%, <0,071мм – 10%	м/з плотный Тип Б
Метод уплотнения: по ГОСТ 12801-98 (вибростол + 20 МПа)					
1	Плотность, г/см ³	2,63	2,63	2,66	2,66
2	Водонасыщение, %	3,5	3,5	2,0	1,8
Метод уплотнения: гираторный, до требуемой плотности					
3	Количество оборотов гиратора	90	120	50	35
4	Плотность, г/см ³	2,63	2,64	2,67	2,67
5	Водонасыщение, %	3,0	3,0	1,5	1,4
Метод уплотнения: гираторный, по числу оборотов 120					
6	Плотность, г/см ³	2,64	2,64	2,71	2,72
7	Водонасыщение, %	2,3	3,0	0,6	0,4
8	$K \times V_a$	108,8	115,7	34,5	16,5
Метод уплотнения: гираторный, по числу оборотов 200					
9	Плотность, г/см ³	2,68	2,665	2,73	2,74
10	Водонасыщение, %	1,5	2,0	0,1	0,2

Табл. 3. Сравнение уплотняемости различных смесей

сти) при непрямом растяжении по методике EN 12697-26 метод С. Данные эксперимента приведены в табл. 2. Для сравнения использовалась одна и та же смесь, которая отбиралась на дороге и доставлялась в лабораторию для изготовления асфальтобетонных образцов различными способами, впоследствии на дороге (в месте отбора смеси) выпиливались керны для проведения испытаний.

Как видно из результатов, приведенных в табл. 2, наиболее точно имитирует процесс уплотнения на дороге роликовый компактор, но использование его повсеместно связано с определенными трудностями: высокие энерго- и трудозатраты, большое количество смеси для изготовления одного образца, необходимость выпиливания кернов из асфальтобетонной плиты для дальнейших испытаний и т. д. Образцы, полученные на гираторе, имеют жесткость в 1,5–1,7 раза выше по сравнению с кернами, выпиленными на дороге – данный факт объясняется не только различием в способе уплотнения, но и старением вяжущего, которое происходило в процессе догрева смеси в лаборатории до требуемой температуры уплотнения. Несмотря на одинаковую плотность и водонасыщение, образцы, заформованные на прессе, имеют существенное отличие от образцов, выпиленных из покрытия; данный факт объясняется особенностью уплотнения на прессе – сжатие под высоким давлением, и, как описывалось ранее, данный метод имеет ряд существенных недостатков.

На следующем этапе мы провели сравнение уплотняемости асфальтобетонных смесей с различным зерновым составом. В нашем эксперименте уплотнение проводилось при одинаковой температуре, смеси изготавливались на одном и том же битуме, все смеси соответствовали требованиям ГОСТ 9128 по всем показателям.

Как видно из данных, приведенных в табл. 3, наибольшую склонность к уплотнению показала смесь типа Б, которая всего за 35 оборотов гиратора достигла требуемой плотности, смесь типа А № 3 с высоким (в пределах ГОСТ) содержанием частиц размером мельче 0,63 мм также можно отнести к легко уплотняемым. Рассчитав показатель $K \times V_a$ по формуле 2 (графа 8, табл. 3), мы получаем, что его значение достаточно низкое, и следова-



Рис. 5. Гиратор-компактор фирмы COOPER Technology

тельно, на дороге, при интенсивном движении, такой асфальтобетон будет склонен накапливать пластические деформации.

Смесь типа А № 1, выпускаемая по утвержденному рецепту завода АБЗ-ВАД, и экспериментальная смесь типа А № 2, приготовленная в лаборатории, с минимальным в пределах ГОСТ содержанием частиц размером мельче 0,63 мм, показали высокую устойчивость к уплотняемости (уплотнению), что свидетельствует о наличии жесткой каменной структуры в материале. Значение показателя $K \times V_a$ (графа 8, табл. 3) намного выше в сравнении с двумя предыдущими примерами. На уплотнение таких асфальтобетонных смесей потребуются затратить большее количество энергоресурсов, но в то же время данные асфальтобетоны будут более устойчивым к колеобразованию.

На рис. 6 показан график зависимости остаточной пористости от числа оборотов гиратора для смесей, приведенных в табл. 3, на котором четко видно резкое снижение количества пор в процессе уплотнения у асфальтобетона типа Б и асфальтобетона типа А № 3 с высоким содержанием частиц размером мельче 0,63 мм. Согласно подходу системы Supergravel и спецификациям США (табл. 1), в смеси с оптимальным гранулометрическим составом и количеством битума должно содержаться 4% пустот (остаточная пористость 4% или требуемая плотность 96% от максимальной теоретической плотности) при количестве оборотов гиратора N_{design} . Для дорог с высокой интенсивностью N_{design} составляет 125 оборотов. Как видно из графика, асфальтобетонная

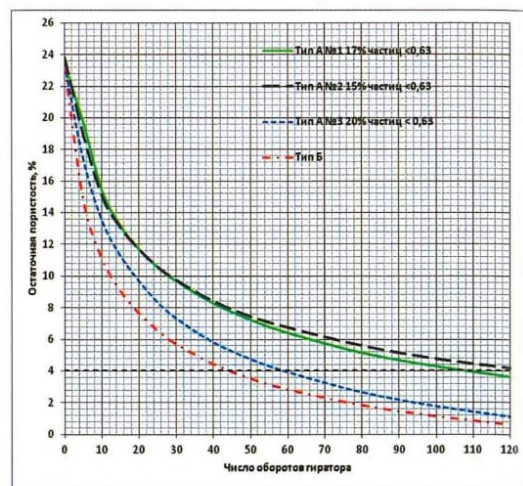


Рис. 6. График зависимости остаточной пористости от числа оборотов гиратора

смесь типа Б достигла требуемой остаточной пористости 4% всего за 44 оборота гиратора, смесь типа А № 3 – за 58 оборотов; это свидетельствует о легкоуплотняемости (пластичности) данных смесей.

Таким образом, в сравнении с традиционным методом изготовления асфальтобетонных образцов в лабораторных условиях по ГОСТ 12801, использование гиратора дает ряд существенных преимуществ и положительных особенностей, а именно:

- имитируется уплотняющее воздействие колеса (давление 0,6 МПа);
- существует возможность формовать образцы до требуемой заданной плотности или числа оборотов;
- оценивается уплотняемость асфальтобетонной смеси;
- не разрушаются минеральные материалы в процессе уплотнения, при этом перераспределяются компоненты смеси и получается однородная структура;
- возможно изготавливать образцы диаметром 100 и 150 мм различной высоты.

В результате уже на этапе проектирования и/или выпуска асфальтобетонной смеси мы можем предварительно оценить ее склонность к накоплению пластических деформаций (склонность к колеобразованию) в процессе эксплуатации.

Д.А. Колесник,
руководитель группы исследования
строительных материалов
Д.В. Пахаренко,
главный-технолог,
ЗАО «ВАД»

(Продолжение следует)