

• © В.А. Золотарев, докт. техн. наук, профессор (ХНАДУ)

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПО СТАТИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

Аннотация. Рассмотрена целесообразность оценки долговечности асфальтобетонных конструкций по времени их жизни при статической усталости. Для получения сопоставимых результатов испытания разных асфальтобетонных конструкций целесообразно производить при равных отношениях, создаваемых в них напряжений к прочности.

Показано, что различия времен жизни разных асфальтобетонных конструкций тем больше, чем ближе действующие напряжения к границе линейного вязкоупругого деформирования. Представлены результаты испытаний асфальтобетонных конструкций на битумах с разной глубиной проникания иглы (консистенций), на битумах, модифицированных полимерами. Рассмотрено одновременное действие нагрузок и жидких сред на показатели долговечности асфальтобетонных конструкций.

Ключевые слова: асфальтобетон, долговечность, статическая усталость, напряжение.

Анотація. Розглянуто доцільність оцінки довговічності асфальтобетонів за часом їх життя при статичній втомі. Для отримання порівнянних результатів випробування різних асфальтобетонів доцільно проводити при однакових відношеннях, що створюють у них напруження до міцності.

Показано, що відмінності часів життя різних асфальтобетонів тим більші, чим ближче діюче напруження до межі лінійного в'язкопружного деформування. Наведені результати випробувань асфальтобетонів на бітумах з різною глибиною проникнення голки (консистенції), на бітумах, що модифіковані полімерами. Розглянуто одночасну дію навантажень і рідких середовищ на показники довговічності асфальтобетонів.

Ключові слова: асфальтобетон, довговічність, статична втома, напруження.

Annotation. We consider the advisability of evaluating the durability of asphalt at the time of their life in static fatigue. To obtain comparable results of various tests asphalt should be performed with equal relationship, the stress created in them the strength.

It is shown that the difference in the lifetimes of different asphalt is greater the closer the action-sponding to the boundary voltage linear viscoelastic deformation. The results of tests on asphalt bitumen different depth of needle penetration (consistency) for bitumen modified with polymers. Considered the simultaneous action of stress and liquids on the performance durability of asphalt concrete.

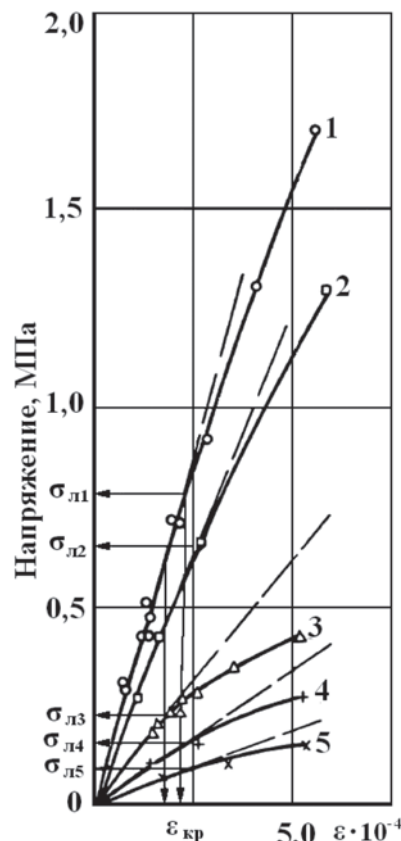
Keywords: asphalt, durability, static fatigue, stress.

Вступлення

Важнейшим критерием оценки качества асфальтобетона, раскрывающим его способность сопротивляться разрушающему воздействию транспортных средств, является усталостная прочность.

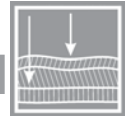
Традиционно, в качестве такого критерия используют количество циклов, которое выдерживает асфальтобетон при изгибе с постоянными амплитудами нагрузок или деформаций [1, 2]. Одним из условий обеспечения объективности этого критерия является необходимость соблюдать в процессе испытания условия, при которых количество циклов приближалось бы к количеству проходов, которые асфальтобетон испытывает в процессе его работы в дорожной одежде. Это количество циклов по разным источникам колеблется от $80 \cdot 10^6$ до $200 \cdot 10^6$ [3].

Выполнение этого условия является достаточно проблематичным, поскольку требует продолжительного времени и высокой надежности используемого для испытаний оборудования. Уменьшения времени испытания можно достичь за счет увеличения нагрузки или относительной деформации, передаваемой асфальтобетону. Однако при этом теряется главная цель испытания, заключающаяся в том, чтобы величины напряжений (σ_n) и деформаций (ϵ_n) были близкими к тем, которые отвечают области их линейного деформирования (рис. 1).



Границы линейного деформирования зависят от его частоты и температуры, от состава асфальтобетона, использованного в нем вяжущего и других факторов (табл. 1, 2).

Рис. 1. Зависимость между напряжениями (σ) и деформациями (ϵ) при температуре 20 °C для асфальтобетона типа А на битуме БНД 60/90 при частотах деформирования в Гц: 1 – 20; 2 – 5; 3 – 0,5; 4 – 0,05; 5 – 0,01



Таблиця 1

Значения ϵ_d и σ_d асфальтобетонов на битумах разных пенетрации и типа при частоте 0,5 Гц и температуре 20 °С

Показатели свойств	Пенетрация битума, ×0,1 мм				Содержание битума 60/90, %				Тип битума		
	40/60	60/90	90/130	130/200	4,25	5,0	5,75	6,0	“гель”	“золь гель”	“золь”
$\epsilon_d \cdot 10^{-4}$	3,50	2,50	2,00	1,80	1,80	2,50	3,00	3,70	1,20	4,00	4,80
σ_d	0,42	0,22	0,11	0,94	0,15	0,22	0,30	0,19	0,11	0,52	0,67
$R_{изг}^{20}$, МПа	2,60	2,00	1,70	1,40	1,80	2,00	2,05	-	1,30	2,30	2,65
$\sigma_d/R_{изг}$	0,160	0,110	0,062	0,060	0,080	0,110	0,140	-	0,080	0,220	0,250

Таблиця 2

Значения ϵ_d и σ_d при частоте 0,5 Гц и температуре 20 °С асфальтобетонов на битумах и битумах, модифицированных полимером SBS

Показатели свойств	Битумы разной пенетрации и БМП с 3 % полимера								Битум с содержанием полимера, %				
	46	БМП 30	70	БМП 46	116	БМП 60	176	БМП 6	0	3	5	7	10
$\epsilon_d \cdot 10^{-4}$	2,25	2,5	1,50	2,20	1,25	1,50	0,90	1,50	1,25	1,50	2,20	2,65	2,85
σ_d , МПа	0,54	0,72	0,28	0,48	0,17	0,28	0,09	0,26	0,17	0,28	0,54	0,55	0,53
$R_{изг}^{20}$, МПа	2,61	2,95	2,3	2,58	2,13	2,41	1,96	2,26	2,13	2,41	2,52	2,56	2,60
$\sigma_d/R_{изг}$	0,210	0,240	0,120	0,190	0,080	0,120	0,051	0,120	0,080	0,120	0,210	0,220	0,200

Величины деформаций, отвечающие линейности, возрастают по мере повышения консистенции битумов, повышения его содержания, при переходе от битумов окисленных к дистилляционным, при введении полимера в битум (БМП) и увеличении его содержания (табл. 1 и табл. 2). Практически такие же тенденции, за исключением содержания битума, наблюдаются для критических напряжений. Для усталостных испытаний важным является то, что отношения σ_d к прочности асфальтобетона при изгибе ($R_{изг}$) изменяются подобным образом. Эти отношения колеблются от 0,06 (для маловязких битумов) до 0,22 (для высоковязких битумов и БМП).

Напряжения, близкие к границе линейности очень малы, их трудно обеспечить при циклической усталости. Кроме того, результаты циклических испытаний могут зависеть: от вида воздействия (синусоидального, циклического в виде прямоугольника или треугольника); от уровня нагружения относительно нулевого значения напряжений в образце; от частоты нагружения, при синусоидальном нагружении; режима нагружения (периодов нагружения и отдыха) при воздействии, отличающемся от синусоидального. Высокие частоты воздействия могут сопровождаться повы-

шением температуры и, следовательно, снижением жесткости асфальтобетона. Таким образом, из-за разнообразия циклических испытаний, получаемые, в разных лабораториях, результаты часто не могут быть сопоставимыми [2, 4].

Недостатки, которые сопутствуют циклическим испытаниям на усталость, могут быть устранены при испытаниях на ползучесть до разрушения под действием серии постоянных нагрузок. В результате таких испытаний можно определить зависимости статической усталости, т.е. времени жизни асфальтобетона от меняющихся напряжений. Такие испытания исключают непредсказуемое влияние на показатель усталости асфальтобетона отдыха между циклами. Они отличаются простотой и максимальным приближением к понятию “долговечность” [1, 5].

Основная часть

Методика, принятая для исследований, предусматривает определение прочности ($R_{изг}$) при заданной температуре (в данном случае 21 °С) и скорости деформирования (3 мм/мин) на четырехточечный изгиб прямоугольной балки. Затем серия балок подвергается действию постоянных нагрузок,

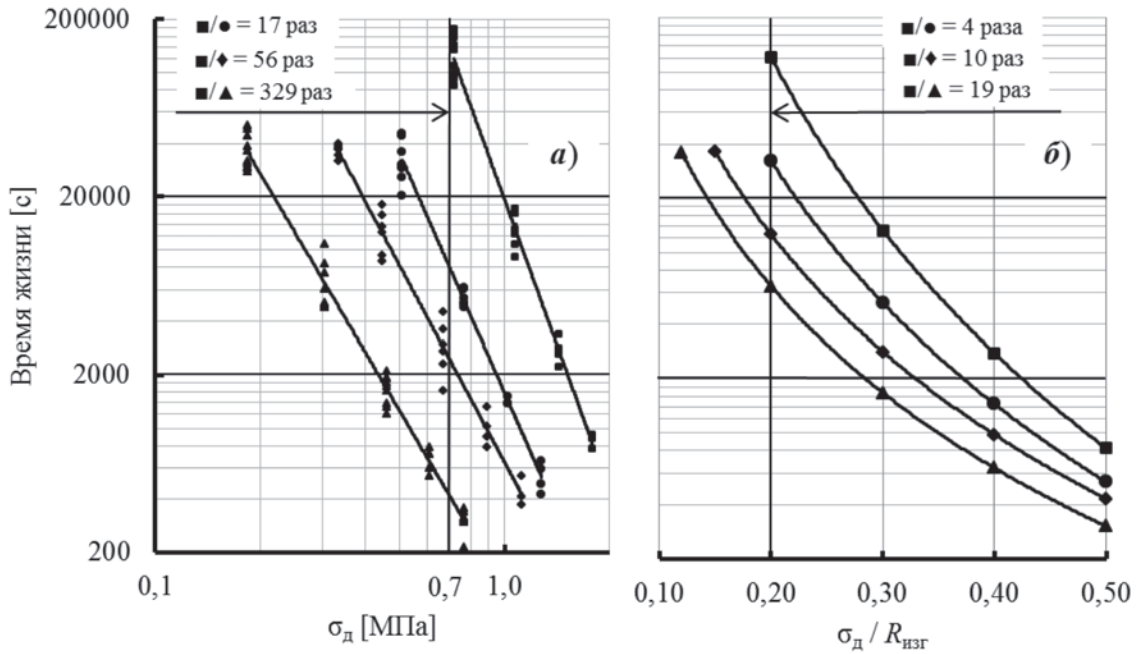
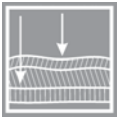


Рис. 2. Зависимости времени жизни асфальтобетона типа “Г” на битумах различной пенетрации от напряжения, создаваемого постоянной нагрузкой (а), и уровня напряженного состояния (б): ■ – Б (43); ● – Б (64); ◆ – Б (103); ▲ – Б (160)

Таблица 3

Сравнительные данные по статической усталости асфальтобетонов на битуме и битуме с 3% полимера SBS при $\sigma_d/R_{изг}=0,2$

Показатели	Битумное вяжущее с пенетрацией, в 0,1 мм					
	Битум 64	БМП 52	Битум 103	БМП 74	Битум 160	БМП 107
Прочность при изгибе, МПа	2,50	3,48	2,23	3,01	1,53	2,45
Время жизни, с · 10 ⁻³	32,0	69,0	12,0	27,0	6,5	21,0
Соотношение времени жизни	1,00	2,15	1,00	2,25	1,00	3,23

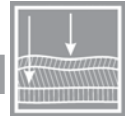
вызывающих в них напряжения (σ_d) равные 0,1, 0,2, 0,4, 0,5 от прочности на изгиб. По результатам испытания в логарифмических координатах строят зависимости времени жизни (t) от σ_d . Наклон этих зависимостей характеризуется показателем степени (m) в соответствии с уравнением

$$t = A \cdot \sigma_d^{-m} \quad (1)$$

Время жизни асфальтобетона под нагрузкой является чрезвычайно чувствительной характеристикой к составу, структуре асфальтобетона и свойствам составляющих его материалов. Примером этому служат его зависимости от действующего напряжения в случае асфальтобетонов на битумах с разной консистенцией (рис. 2). Так, при напряжения 0,7 МПа время жизни асфальтобетонов на битумах с пенетрацией при 25 °С, равной 64·0,1 мм, 103·0,1 мм, 160·0,1 мм по сравнению с асфальтобетоном на битуме с пенетрацией 43·0,1 мм

уменьшается соответственно в 17, 56, 329 раз. Это различие тем больше, чем ниже величина действующего напряжения. При этом значения пенетрации соответствующих битумов соотносятся, как 1,49; 2,40; 3,71, а соответствующие отношения прочности при изгибе – как 1,40; 1,60; 2,33.

Эти соотношения времен жизни многократно уменьшаются при переходе к испытаниям на статическую усталость с одинаковым уровнем напряженного состояния для разных асфальтобетонов. При $\sigma_d/R_{изг}=0,2$ они равны: 4, 10, 19. Их значения, как и в предыдущем случае, уменьшаются при повышении уровня напряженного состояния, но они гораздо ближе к реальным соотношениям долговечности асфальтобетонов. Эти соотношения хорошо согласуются с соотношениями вязкости (2,8, 10, 20 раз) битумов с близкой пенетрацией, полученными в [6].



Таблиця 4

Влияние жидких сред на время жизни асфальтобетонов и асфальтополимербетонов

Среда	Показатель	Битумное вяжущее с пенетрацией, 0,1 мм						
		Б 64	БМП 52	Б 103	БМП 74	Б 160	БМП 107	БМП+ 0,7 ПАВ 102
Вода	Время жизни, 10^3 с $t_{\text{БМП}}/t_{\text{Б}}$	27,5	59,2	10,7	23,9	5,5	18,5	23,5
		1,0	2,1	1,0	2,2	1,0	3,4	4,3
Дизельное топливо	Время жизни, 10^3 с $t_{\text{БМП}}/t_{\text{Б}}$	7,8	23	4,4	10,2	2,35	7,5	—
		1,0	2,9	1,0	2,3	1,0	3,2	—

Принятый подход позволяет сопоставить влияние различных факторов состава асфальтобетона на их долговечность. Особый интерес представляют данные, свидетельствующие о влиянии на нее содержания полимера в битумном вяжущем (табл. 3).

Введение в битумы с пенетрацией 64·0,1 мм, 103·0,1 мм и 160·0,1 мм 3 % SBS увеличивает время жизни асфальтобетона соответственно в 2,15 и 3,23 раза, что существенно выше, чем увеличение его прочности соответственно в: 1,30; 1,35; 1,6 раза.

Время жизни асфальтобетона с 40 % щебня и 5 % битума с пенетрацией 46·0,1 мм, уплотненного до уровня остаточной пористости 4,6 % и 8,0 % в случае испытания под нагрузкой 0,5 МПа составило соответственно $5,0 \cdot 10^4$ с и $1,0 \cdot 10^4$ с (соотношение равно 5), а в случае испытания при равном уровне напряженного состояния ($\sigma_{\text{д}}/R_{\text{изг}}=0,2$) – $2,5 \cdot 10^4$ с и $1,26 \cdot 10^4$ с (соотношение около 2).

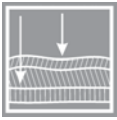
Асфальтобетонное покрытие в процессе службы в верхнем слое дорожной одежды подвергается не только действию нагрузок, но и жидких агрессивных сред. Для оценки разрушающего действия воды в ЕС, как правило, используют метод М. Duriez (EN 12697-12). В Украине и в России используется подобный, но отличающийся вдвое большим временем (15 суток) выдерживания в воде предварительно водонасыщенного образца. Этот метод и разрушение водонасыщенного асфальтобетона при сжатии не отвечает условиям его работы в покрытии. Метод определения статической усталости позволяет устранить этот недостаток за счет одновременного изгиба под нагрузкой и воздействия на асфальтобетон жидкой среды. При этом, в нижней зоне образца возникают растягивающие напряжения, способствующие более свободному прониканию среды в образующиеся при деформировании трещины и раскрывающиеся дефекты, чем в случае нормальных напряжений при сжатии. В качестве примера агрессивных сред приняты вода и дизельное топливо.

Введение 3 % полимера в битум повышает время жизни в воде в случае: пенетрации 64·0,1 в 2,1 раза; 103·0,1 мм – в 2,2 раза; 107·0,1 мм в 3,4 раза (табл. 4). Соответствующая этому прочность при изгибе повышается в 1,40 раза, 1,35 раза и 1,60 раза. Для

установления более объективной оценки влияния полимера на средоустойчивость асфальтобетона целесообразно сравнивать времена жизни тех из них, которые приготовлены на вяжущих близкой пенетрации. При средней пенетрации двух БМП (52·0,1 мм и 74·0,1 мм) равной 63·0,1 мм, соответствующее этому среднее время жизни асфальтополимербетона равно $41,5 \cdot 10^3$ с, а отвечающее этому время жизни асфальтобетона с пенетрацией 64·0,1 мм равно $27,5 \cdot 10^3$ с, т.е. долговечность асфальтополимербетона больше в 1,5 раза. В случае же асфальтобетона на битуме с пенетрацией 103·0,1 мм, а асфальтобетона на БМП с пенетрацией 107·0,1 мм время жизни последнего больше в 1,7 раза. Введение поверхностно-активного вещества в БМП увеличивает время жизни асфальтополимербетона в воде по сравнению с асфальтополимербетоном на БМП с пенетрацией 107·0,1 мм в 1,27 раза, а по сравнению с асфальтобетоном на битуме с пенетрацией 103·0,1 мм в 2,2 раза.

Действия горюче-смазочной жидкости (дизельного топлива) резко понижает время жизни асфальтобетона при $\sigma_{\text{д}}/R_{\text{изг}}=0,2$ (табл. 4). При этом с изменением пенетрации битума от 64·0,1 мм до 103·0,1 мм и 160·0,1 мм оно снижается от $7,80 \cdot 10^3$ с до $4,40 \cdot 10^3$ с и $2,35 \cdot 10^3$ с (т.е. в 1,8 и 3,4 раза).

Введение 3 % полимера в эти битумы повышает время жизни асфальтополимербетона в дизельном топливе соответственно в 2,9; 2,3 и 3,2 раза. Так как введение полимера переводит битум в более консистентное состояние, что само по себе повышает время жизни асфальтобетона, то более объективно, как и в случае с водой, сравнивать времена жизни асфальтобетонов и асфальтополимербетонов на вяжущих с близкой пенетрацией. Время жизни асфальтобетона на битуме с пенетрацией 64·0,1 мм ($7,8 \cdot 10^3$ с) можно сравнивать со средним значением долговечности асфальтополимербетонов ($16,1 \cdot 10^3$) на БМП с пенетрацией 52·0,1 и 74·0,1 мм (средняя 63·0,1 мм). В этом случае время жизни асфальтополимербетона в дизельном топливе растет в 2,1 раза. В случае битума с пенетрацией 103·0,1 мм и БМП с пенетрацией 107·0,1 мм время жизни асфальтобетона меньше, чем асфальтополимербетона в 1,7 раза.

**Выводи**

Для получения сопоставимых времен жизни при испытаниях на статическую усталость разных асфальтобетонных уровней их нагружения, определяемый по отношению возникающих в образце напряжений к его прочности на изгиб, должен быть одинаковым. Идеальными являются напряжения, не выходящие за пределы области линейного вязкоупругого поведения. Напряжения, отвечающие границе линейности, увеличиваются при понижении пенетрации битума и введении в битум полимера типа SBS в количестве от 3 % до 7 %.

Изменение времени жизни асфальтобетона под действием разных факторов гораздо больше, чем изменение его прочности при аналогичной схеме напряженного состояния. При увеличении глубины проникания иглы от 64·0,1 мм до 160·0,1 мм время жизни асфальтобетона на воздухе уменьшается в 4,9 раза, тогда как прочность при изгибе уменьшается в 1,6 раза. Введение в битумы с такими пенетрациями 3 % полимера повышает время жизни при изгибе соответственно в 2,1 и 3,2 раза, а прочность в 1,4 и 1,6 раза.

При статической усталости легко осуществить режим одновременного действия на асфальтобетон нагрузки и жидких сред. При этом, время жизни в воде асфальтобетона на битуме с пенетрацией 64·0,1 мм в 5 раз выше, чем асфальтобетона на менее вязком битуме ($P_{25}=160\cdot0,1$ мм), а в случае дизельного топлива это превышение составляет 3,4 раза.

Модификация битума полимером повышает время жизни асфальтобетона в воде в случае битума с пенетрацией 64·0,1 мм в 2,10, а в случае битума с пенетра-

цией 160·0,1 мм – в 3,4 раза. Эффективность полимера в отношении дизельного топлива для тех же исходных битумов находится в пределах 2,9–3,2 раза.

Совокупность полученных экспериментальных данных свидетельствует о возможности и целесообразности использования статической усталости в качестве эффективного метода оценки долговечности асфальтобетонных и асфальтополимербетонных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brown S.F. Essais triaxiaux sur enrobes bitumineux en chargement repete ou en fluage // Bull. Liaison Labo. P. et Ch., Special V. – 1977. – P. 125 – 138.
2. Soliman S., Doan T.H. Influence des parametres de formulation sur le module et la resistance a la fatigue des graves-bitume // Bull. Liaison Labo. P. et Ch., Special V. – 1977. – P. 229 – 245.
3. Chaussees a longue duree de vie et cas de reussite // Rapport du Comite Technique 4.3 sur les chaussee routieres. 2007. – 42 p.
4. La Roche Ch., Corte J.-F., Gramsammer J.-C., Odeon H., Tiret L., Caroff G. Etude de la fatigue des enrobes bitumineux a l'aide du manege de fatigue du LCPC // RGRA, № 716. – 1994. – P. 62 – 74.
5. Composite materials. Fracture and Fatigue / Volume 5 // Edited by L.J. Broutman. Academic presse, New York and London. – 1974. – 484 p.
6. Carre G., Laurent D. Relation entre la penetration et la viscosite des bitumes // Bulletin de l'A.F.T.R. № 157. – 1963. – 54 p.
7. Doan T.H., Grignard A., Uge P. Evolution sur route de liants et enrobes bitumineux // Bull. Liaison Labo. P. et Ch., Special V. – 1977. – P. 275 – 283.

ДОРОГИ У РІЗНИХ КРАЇНАХ СВІТУ**Німеччина**

Багато хто вважає саме німецькі дороги еталонними в Європі, і в нашому рейтинзі саме Німеччина посідає перше місце. У цьому немає нічого фантастичного, враховуючи як їх будують.

Дивно, але першому німецькому автобану виповнилося 80 років, а більшість сучасних доріг побудовані ще за часів Третього Рейху, і були розраховані на рух танків. Тому сучасні вантажівки не можуть їх розбити.

Головна особливість при будівництві німецьких доріг – велика подушка, яка може досягати двох метрів, і складається із декількох шарів. Тільки після підготовки дорога покривається або надмічним бетоном, або асфальтом.



При будівництві доріг у Німеччині не поспішають, і поки застигає надміцний бетон, дорогу накривають спеціальною плівкою, щоб їй не зашкодили сонце чи дощ.

Так само під час робіт ретельно стежать за матеріалами, і, якщо під час укладання асфальту пішов дощ, то німецькі майстри будуть чекати повного просихання ділянки, перш ніж продовжать роботу.

Кожна дорога має свій гарантований термін експлуатації, і протягом цього часу з'являються вибоїни, компанії, що займаються обслуговуванням доріг, роблять ремонт за свій рахунок.

Здавалося б, немає нічого складного. Приїхала бригада, зробила невеликий ремонт і поїхала. Та ні. У Німеччині практично не використовують подібну практику, а якщо виникає потреба у ремонті, міняють відразу велику ділянку, що б уникнути подальшого руйнування дороги.

На будівництві доріг не економлять і закуповують тільки найсучаснішу техніку і кращі матеріали, оскільки будь-яка помилка або неточність може призвести до величезних судових позовів і фінансових витрат.

Фінляндія

Ця скандинавська країна так само входить до трійки країн з найкращими дорогами. І це не дивлячись на суворий клімат.

Як і в інших європейських країнах фіни стежать за якістю подушки, що складається з різних матеріалів.



До того ж, варто врахувати, що нині основне будівництво ведеться в регіонах країни, де раніше прокладка якісних доріг не була можливою через нестабільний ґрунт.

Однак сучасні технології та матеріали дали змогу вирішити і цю проблему. Вони використовують стабілізацію ґрунтових мас – до торфу або глини додаються спеціальні домішки, які роблять основу для майбутньої дороги більш стійкою.

Окрім того, особлива увага приділяється і ґрунтовим дорогам, які так само підтримують у належному стані.

Продовження на стор. 43