

**ТРЕБОВАНИЯ К ДЕФОРМАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ
РАБОЧЕГО СЛОЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

Д-р техн. наук, профессор **А.М. Кулижников**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Конт. информация kulizhnikov@rosdornii.ru

В статье дано обоснование целесообразности увеличения прочности грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Приведены рекомендуемые минимальные модули упругости грунтов и предельно допустимые упругие деформации на поверхности земляного полотна автомобильных дорог в разных дорожно-климатических зонах.

Ключевые слова: *грунт, земляное полотно, автомобильная дорога, модуль упругости, дорожно-климатическая зона, упругая деформация.*

Попытка создания конструкций дорожных одежд с увеличенными сроками службы была предпринята ФАУ «РОСДОРНИИ» в 2006 г. Сотрудниками института по заданию Росавтодора (госконтракт № ОПО-12/299) были разработаны типовые конструкции дорожных одежд автомобильных дорог общего пользования с учетом дорожно-климатических зон (ДКЗ) и технических категорий [1]. В основу исследования была заложена концепция, предусматривающая необходимость разработки таких типовых конструкций дорожных одежд, которые бы отвечали требованиям прочности и морозоустойчивости, а также позволяли бы выполнить последующие ремонтные работы (замена изношенных слоев покрытия) только с небольшими затратами. Обеспечение транспортно-эксплуатационных характеристик дорожной одежды достигается устройством мощных оснований (I-II классов прочности, как из каменных и укрепленных каменных материалов, так и дренирующих и морозозащитных слоев), что в будущем позволит только усиливать дорожное покрытие.

По данным д-ра техн. наук Б.С. Радовского, «*Концепция вечных дорожных одежд была выдвинута в 2000 г. «Альянсом асфальтобетонных покрытий» в США. Вечными были названы дорожные одежды, запроектированные и построенные так, чтобы они служили не менее 50 лет без капитального ремонта или реконструкции. Повреждения допускаются только в самом верхнем слое, который периодически обновляется» [2].*

Таким образом, земляное полотно и основание дорожной одежды должны служить долгие годы. Однако сегодня, если к основанию до-

рожной одежды требования в нормативно-технических документах повышаются, то для грунтов земляного полотна решаются вопросы либо определения расчетных характеристик грунтов в разных природно-климатических условиях [3], либо обеспечения водоотвода из земляного полотна.

В связи с вышеизложенным, необходимо уделять должное внимание увеличению прочности грунтов земляного полотна, так как устранение деформаций в земляном полотне и подстилающем его основании, как правило, обуславливает замену всей конструкции дорожной одежды.

Рассмотрим пример требований к земляному полотну в Евросоюзе, в частности, в отношении автомобильных дорог Германии. Чем же они отличаются от автомобильных дорог Российской Федерации? Государственной компанией «Автодор» с привлечением проектного института «Стройпроект» был разработан проект «Реконструкция автомобильной дороги М-4 «Дон» от Москвы через Воронеж, Ростов-на-Дону, Краснодар до Новороссийска на участке км 933 – км 1024 (Ростовская область). При этом проектная документация была подготовлена по нормам Российской Федерации (институт «Стройпроект») и Германии (Ingenieurgruppe BEB GmbH).

При прочей схожести конструкций дорожной одежды заслуживают внимание требования, предъявляемые к земляному полотну [4,5].

При проектировании дорожных одежд в Германии модуль упругости грунтов земляного полотна назначают, согласно RSTO 01 «Нормы и правила по стандартизации конструкций дорожных одежд» [5], равным не менее 45 МПа для всех типов дорожных одежд. Немецкой стороной грунт земляного полотна представлен как стабилизированный суглинок тяжелый пылеватый с модулем упругости величиной 45 МПа.

По климатическим характеристикам территория Германии относится к категории не ниже IV ДКЗ России, с относительно сухими грунтами и глубоким залеганием уровня грунтовых вод.

В то же время следует отметить, что территория Российской Федерации расположена в основном в I-II ДКЗ. И в лучшем случае модуль упругости на поверхности земляного полотна из местных грунтов (при проектировании по действующим нормам) будет принят не выше 25 МПа, а по данным работы [3] еще меньше – 16-20 МПа. Известно, что при таких модулях упругости грунта в ряде европейских стран требуется индивидуальное проектирование дорожной одежды.

Следовательно, представляется целесообразным для продления межремонтных сроков службы дорожных одежд в Российской Федерации идти по пути обязательного улучшения свойств грунтов земляного

полотна и подстилающего основания, достигнув их стабильных характеристик в течение всего периода эксплуатации автомобильной дороги.

Рассматривая вопросы повышения межремонтных сроков службы дорожных конструкций основное внимание, по-прежнему, уделяется верхним слоям дорожной одежды, что отражено, например, в ОДМ 218.2.065-2015 [6]. Но как бы качественно не были построены верхние слои покрытия, при деформациях в нижних слоях дорожной конструкции будут разрушаться и верхние слои. Так, по данным д-ра техн. наук С.К. Илиополова, полученным по результатам исследований на автомобильных дорогах, остаточные деформации в слоях покрытия составляют 30%, а в основании дорожной одежды и грунтах земляного полотна – оставшиеся 70%.

Следовательно, необходимо, с учетом опыта Германии, ужесточить требования и к грунтам земляного полотна и подстилающего основания, при этом, чем хуже природно-климатические условия эксплуатации (например, I-II ДКЗ), тем требования должны быть выше. Основные характеристики I-V ДКЗ приведены в **табл. 1**. Из таблицы видно, что условия эксплуатации дорог явно различные.

Известно, что чем выше влажность грунта, тем меньше модуль упругости, ниже сцепление грунтов и меньше угол внутреннего трения.

Таким образом, не затрагивая I и V ДКЗ, требуемые показатели, модуля упругости грунтов рабочего слоя земляного полотна, по нашим предложениям, будут дифференцированы, в расчетный период (весна, осень) при расчетной влажности грунтов они должны быть не менее нижеприведенных значений [4]:

II ДКЗ – 60 МПа;

III ДКЗ – 53 МПа;

IV ДКЗ – 45 МПа.

Минимальный модуль упругости на поверхности рабочего слоя земляного полотна для II ДКЗ был получен исходя из расчетов по схеме, рис. 3.1, а также табл. 2 ОДН 218.046-01 [7]. При расчете учитывали величину минимального модуля упругости нижнего слоя основания земляного полотна из суглинка легкого (E_n), равную 24 МПа, а верхнего слоя земляного полотна толщиной 30 см из укрепленного суглинка легкого (E_b) – 150 МПа. Отношение толщины слоя к диаметру круга, равновеликого по площади отпечатку колеса автомобиля, $h/D = 30/37$ составляет 0,81. При отношении модулей упругости $E_n/E_b = 24/150 = 0,16$ из номограммы следует, что $E_{общ}/E_b = 0,4$, тогда модуль упругости на поверхности земляного полотна будет $E_{общ} = 0,4 \times 150 = 60$ МПа.

Таблица 1

Характеристики дорожно-климатических зон

<i>Дорожно-климатическая зона</i>	<i>Название зоны</i>	<i>Характеристики</i>	<i>Среднее значение влажности суглинка пылеватоого, доли от влажности на границе текучести</i>
I	<i>Зона распространения многолетне-мерзлых грунтов</i>	<ul style="list-style-type: none"> • переувлажнение верхних слоев грунта; • короткий летний период; • незначительное испарение 	0,65-0,75
II	<i>Зона избыточного увлажнения</i>	<ul style="list-style-type: none"> • избыточное увлажнение грунта в течение года; • значительное количество осадков; • малая испаряемость и высокий уровень грунтовых вод; • частое явление верховодки 	0,70-0,78
III	<i>Зона значительного увлажнения в отдельные годы</i>	<ul style="list-style-type: none"> • избыточное увлажнение весной и осенью; • условия увлажнения непостоянные 	0,66-0,70
IV	<i>Зона недостаточного увлажнения</i>	<ul style="list-style-type: none"> • умеренная влажность грунтов; • небольшое количество осадков; • значительная испаряемость; • грунтовые воды расположены на большой глубине 	0,60-0,64
V	<i>Засушливая зона</i>	<ul style="list-style-type: none"> • незначительное увлажнение; • сильная испаряемость 	0,57-0,60

Таблица 2

Расчетные характеристики грунта земляного полотна во II дорожно-климатической зоне

<i>Схема увлажнения</i>	<i>Характеристики</i>	<i>Грунт земляного полотна</i>				<i>Рекомендуемый модуль упругости</i>
		<i>Супесь легкая</i>	<i>Песок пылеватый</i>	<i>Суглинок легкий</i>	<i>Супесь пылеватая, суглинок пылеватый</i>	
1	Расчетная влажность (W/W_T)	0,78	0,80	0,84	0,90	
	Модуль упругости (E), МПа	44	60	25	26	60
2	Расчетная влажность (W/W_T)	0,82	0,84	0,88	0,94	
	Модуль упругости (E), МПа	43	55	24	25	60
3	Расчетная влажность (W/W_T)	0,84	0,86	0,90	0,96	
	Модуль упругости (E), МПа	42	53	24	25	60

Таблица 3

Расчетные характеристики грунта земляного полотна в III- IV дорожно-климатических зонах

Схема увлажнения	Характеристика	Грунт земляного полотна				Рекомендуемый модуль упругости
		Супесь легкая	Песок пылеватый	Суглинок легкий	Супесь пылеватая, суглинок пылеватый	
<i>III дорожно-климатическая зона</i>						
1	Расчетная влажность (W/W_T)	0,70	0,72	0,76	0,79	
	Модуль упругости (E), МПа	49	67	33	33	53
2-3	Расчетная влажность (W/W_T)	0,74	0,77	0,79	0,84	
	Модуль упругости (E), МПа	45	60	30	28	53
<i>IV дорожно-климатическая зона</i>						
1	Расчетная влажность (W/W_T)	0,64	0,66	0,68	0,72	
	Модуль упругости (E), МПа	54	77	45	43	45
2-3	Расчетная влажность (W/W_T)	0,68	0,70	0,72	0,77	
	Модуль упругости (E), МПа	51	72	38	36	45

В соответствии с **табл. 2** во II ДКЗ при расчетной влажности грунтов модуль упругости величиной 60 МПа зафиксирован только у песка пылеватого при 1 схеме увлажнения. У всех остальных грунтов необходимо повышать модуль упругости при всех схемах увлажнения, в том числе и у песка пылеватого при 2 и 3 схемах увлажнения.

В IV ДКЗ величина модуля упругости грунта земляного полотна в соответствии со схожими природно-климатическими условиями принята как в Германии. В соответствии с **табл. 3** в IV ДКЗ при расчетной влажности грунтов модуль упругости не менее 45 МПа зафиксирован у песка пылеватого и супеси легкой независимо от схемы увлажнения, а также у суглинка легкого при 1 схеме увлажнения. У супеси пылеватой, суглинка пылеватого необходимо повышать модуль упругости при всех схемах увлажнения, а у суглинка легкого – при 2-3 схемах увлажнения.

В III ДКЗ модуль упругости грунта земляного полотна принят как промежуточное значение между II и IV ДКЗ. В соответствии с **табл. 3** в III ДКЗ при расчетной влажности грунтов модуль упругости не менее 53 МПа зафиксирован только у песка пылеватого независимо от схемы увлажнения. У всех остальных грунтов необходимо повышать модуль упругости при всех схемах увлажнения.

При этом в зонах избыточного и значительного увлажнения (II-III ДКЗ) в отдельные годы минимальные модули упругости должны быть приняты выше, так как их труднее сохранить в процессе эксплуатации автомобильной дороги.

Что дает увеличение модулей упругости на поверхности рабочего слоя земляного полотна? Для ответа на данный вопрос были выполнены расчеты дорожных одежд из традиционных дорожно-строительных материалов (асфальтобетон, щебень, песок) на осевую нагрузку 100 кН, при числе приложений расчетной нагрузки соответственно 1 000 000, 500 000 и 300 000. В сравниваемых конструкциях дорожной одежды грунт рабочего слоя земляного полотна представлен как улучшенный с рекомендуемыми в статье модулями упругости, а суглинок тяжелый пылеватый при расчетной влажности и модуле упругости, характерном для соответствующей дорожно-климатической зоны.

Результаты расчетов по ОДМ 218.046-01 [7], выполненные ранее в работе [1], приведены в **табл. 4**.

Из **табл. 4** следует, что чем больше приложений нормативной нагрузки и чем севернее дорожно-климатическая зона, тем будет больше снижение толщины слоев дорожной одежды с улучшенными характеристиками грунта рабочего слоя земляного полотна, тем эффективнее будет строительство дорог за счет улучшения свойств грунтов.

Снижение толщины слоев дорожной одежды при улучшенном грунте рабочего слоя земляного полотна

№ п/п	Дорожно-климатическая зона	Область	Снижение толщины слоев дорожной одежды, см, при числе приложений нормативной нагрузки		
			1 000 000	500 000	300 000
1	II	Архангельская	43-55	40-58	23-43
2	II	Московская	24-43	14-26	8-16
3	III	Воронежская	22-31	8-22	7-11
4	IV	Ростовская	11-17	7-13	0-4

Даже считая только строительные затраты, можно констатировать, что укрепление грунтов земляного полотна даст экономический эффект за счет уменьшения толщины слоев дорожной одежды (сокращается толщина слоев битумоминеральных материалов, щебня и песка). В то время как с учетом интегральных дисконтированных расходов эффект будет несомненным, так как существенно уменьшатся затраты в период эксплуатации дорожной одежды как за счет снижения расходов владельцев, так и пользователей автомобильной дорогой.

Следует отметить, что значения минимальных модулей упругости на поверхности земляного полотна могут быть в тех или других инженерных решениях и выше (при соответствующем технико-экономическом обосновании), например, от 100 до 150 МПа, что позволит существенно снизить толщину конструктивных слоев дорожной одежды.

Одновременно с повышением модуля упругости должен быть обеспечен также поверхностный водоотвод, что в комплексе мероприятий приведет к повышению сцепления грунтов.

При этом во II-III ДКЗ надо начинать не с земляного полотна, а с увеличения прочности грунтов основания земляного полотна, обеспечивая модуль упругости грунта величиной не менее 30-40 МПа.

При соблюдении вышеуказанных минимальных модулей упругости грунта на поверхности земляного полотна допустимые упругие прогибы при строительстве не должны превышать значений, приведенных в **табл. 5**.

Не лишним будет напомнить, что перечисленные требования необходимо обеспечить не только в период строительства, но и в процессе эксплуатации в течение нескольких жизненных циклов автомобильных дорог. Это очень не простая задача, но и она решаема.

Таблица 5

Предельно допустимые упругие деформации на поверхности земляного полотна при строительстве

<i>Дорожно-климатическая зона</i>	<i>Категория дороги</i>	<i>Нормативная нагрузка на ось, кН</i>	<i>Предельно допустимые размеры упругих деформаций (упругий прогиб), не более, мм</i>
I - II	I - II	130	5,2
		115	4,9
	III	100	3,4
	IV - V	100	3,4
60		3,0	
III	I - II	130	6,2
		115	5,9
	III	100	4,1
	IV - V	100	4,1
60		3,6	
IV - V	I - II	130	6,9
		115	6,6
	III	100	4,6
	IV - V	100	4,6
		60	4,0

На сегодняшний день наиболее распространенными и известными способами усиления грунтов являются следующие:

- замена грунта (пылеватые супесчаные и суглинистые грунты на кондиционные пески);
- армирование геосеткой, георешеткой, геотекстилем и другими материалами;
- укрепление и стабилизация грунта вяжущими (например, непылеватые грунты целесообразно укреплять вяжущими на основе цемента, а пылеватые суглинистые грунты вяжущими – на основе извести);
- осушение грунтов земляного полотна (вертикальное дренирование, поперечные дрены, дренажные прорезы, ленточные дрены и т.д.);
- устройство набивных свай и колонн.

Современным эффективным методом усиления местных грунтов является их укрепление и стабилизация вяжущими. При отсутствии каменных материалов целесообразно возводить земляное полотно из укрепленных грунтов и местных материалов. Тем более что за последние годы технологии укрепления грунтов (качественное рыхление, измельчение, дозирование, перемешивание) заметно прогрессировали. Достаточно улучшить грунты основания земляного полотна и самого земляного полотна, соответственно снизив влажность, повысив модуль упругости и сцепление грунтов.

Применение тех или других методов повышения прочности грунтов земляного полотна должно быть определено на основе технико-экономического обоснования с учетом интегральных дисконтированных расходов за срок сравнения вариантов.

Все перечисленные способы усиления грунтов применяются в Российской Федерации. Однако в ряде случаев у экспертов Главгосэкспертизы возникает вопрос: «На основании каких нормативных документов выполнено усиление грунтов земляного полотна и подстилающего основания». Следовательно, необходима подготовка нормативно документа, регламентирующего требования к улучшенным грунтам земляного полотна и его основания.

ВЫВОДЫ

1. В целях повышения сроков службы дорожных одежд целесообразно повысить требования к грунтам рабочего слоя земляного полотна, назначая их минимальные модули упругости от 45 до

60 МПа соответственно с IV по II ДКЗ, что позволит снизить затраты на устройство дорогостоящей дорожной одежды.

2. Увеличение модулей упругости на поверхности земляного полотна можно достичь заменой, армированием, укреплением, стабилизацией, осушением грунта и другими инженерными решениями, при этом выбор наилучшего из них следует осуществлять на основе технико-экономического сравнения вариантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулижников А.М. Анализ результатов расчета типовых конструкций дорожных одежд нежесткого типа / А.М. Кулижников // ДОРОГИ И МОСТЫ. – 2008. – №19/1. – С. 45-53.
2. Радовский Б.С. Концепция вечных дорожных одежд / Б.С. Радовский // Дорожная техника. – 2011. – № 11. – С. 132-144.
3. Ефименко С.В. Некоторые особенности обоснования свойств прочности и деформируемости глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, М.В. Бадина // ДОРОГИ И МОСТЫ. – 2016. – № 35/1. – С. 70-82.
4. Кулижников А.М. Требования к грунтам земляного полотна и подстилающего основания / А.М. Кулижников // Автомобильные дороги. – 2012. – № 5. – С. 82-83.
5. RSTO 01. Нормы и правила по стандартизации конструкций дорожных одежд: пер. с нем. яз. – М.: СРО НП «МОД «СОЮЗДОРСТРОЙ»; ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2010. – 52 с. [Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. – FGSV. – Ausgabe 2001].
6. ОДМ 218.2.065-2015. Методические рекомендации по увеличению межремонтных сроков службы нежестких дорожных одежд. – Электрон. дан. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133426> (дата обращения 07.04.2017).
7. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М.: Государственная служба дорожного хозяйства, 2001. – 145 с.

LITERATURA

1. Kulizhnikov A.M. Analiz rezul'tatov rascheta tipovyh konstrukcij dorozhnyh odezhd nezhestkogo tipa / A.M. Kulizhnikov // DOROGI I MOSTY. – 2008. – №19/1. – S. 45-53.
2. Radovskij B.S. Konceptiya vechnyh dorozhnyh odezhd / B.S. Radovskij // Dorozhnaya tekhnika. – 2011. – № 11. – S. 132-144.

3. Efimenko S.V. *Nekotorye osobennosti obosnovaniya svoystv prochnosti i deformiruемости glinistyyh gruntov dlya proektirovaniya dorozhnyh odezhd* / S.V. Efimenko, V.N. Efimenko, M.V. Badina // *DOROGI I MOSTY*. – 2016. – № 35/1. – S. 70-82.
4. Kulizhnikov A.M. *Trebovaniya k gruntam zemlyanogo polotna i podstilayushchego osnovaniya* / A.M. Kulizhnikov // *Avtomobil'nye dorogi*. – 2012. – № 5. – S. 82-83.
5. RSTO 01. *Normy i pravila po standartizacii konstrukcij dorozhnyh odezhd: per. s nem. yaz.* – M.: SRO NP «MOD «SOYUZDORSTROJ»; FGUP «STANDARTINFORM», 2010. – 52 s. [*Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. – FGSV. – Ausgabe 2001*].
6. ODM 218.2.065-2015. *Metodicheskie rekomendacii po uvelicheniyu mezhremontnyh srokov sluzhby nezhestkih dorozhnyh odezhd.* – Elektron. dan. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133426> (data obrashcheniya 07.04.2017).
7. ODN 218.046-01. *Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd.* – M.: Gosudarstvennaya sluzhba dorozhnogo hozyajstva, 2001. – 145 s.

REQUIREMENTS ON DEFORMATION CHARACTERISTICS OF SUBGRADE WORKING LAYER

*Doctor of Engineering, Professor A.M. Kulizhnikov
(FAI «ROSDORNII»)*

Contact information: kulihzn@mail.ru

The article gives a justification for expediency of strength soil increasing of road subgrade. Recommended minimum moduli of elasticity for soils and maximum allowable elastic deformations on the surface of road subgrade in different road and climatic zones are given.

Key words: *soil, subgrade, road, modulus of elasticity, road and climatic zone, elastic deformation.*

Рецензент: канд. техн. наук С.Н. Щукин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 22.03.2017 г.