

УЛУЧШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Худайкулов Р.М., Салимова Б.Д.

*Ташкентский институт проектирования, строительства и
эксплуатации автомобильных дорог. г. Ташкент, Республика Узбекистан*

Аннотация

Цели. В различных областях науки и производства термину «стабилизаторы» отвечает широкий круг понятий. В дорожном строительстве, особенно при работе с грунтами, под стабилизаторами подразумеваются химические вещества и соединения, изменяющие физико-химические, физико-механические свойства грунтов, включая и структурные изменения. При этом использование стабилизаторов не всегда ставит своей целью повысить прочность грунтов, просто в результате изменения каких-либо свойства грунтов, например, снижение водонасыщения, набухания, пыления, происходит повышение прочностных показателей. В последние годы значительно расширился ассортимент материалов, используемых в качестве стабилизаторов. **Методы.** Исследованию вопросов улучшения физико-механических характеристик связных грунтов с помощью ПАВ посвящены многочисленные работы. Однако рассматриваемые вопросы в части улучшения лессовых грунтов стабилизаторами ещё недостаточно изучены. Целью статьи являлся разработка рекомендаций по использованию стабилизаторов Т-RRP (один из разновидностей ПАВ) для улучшения прочностных и деформационных характеристик лессовых грунтов, используемых при расчете конструкции дорожных одежд.

На сегодняшний день при быстром темпе развития автомобильного транспорта и внешней торговли роль дорожного строительства возрастает с каждым годом. Все это обуславливает необходимость строительства прочных во времени и отвечающих нормативным требованиям автомобильных дорог. Для создания таких дорог необходим всесторонний учет целого ряда различных факторов при проектировании и строительстве. Это климатические и грунтовые условия местности, возможность использования природных ресурсов в районе проложения автомобильной дороги, необходимость обеспечения показателей

автомобильной дороги с учетом перспектив движения, сохранения окружающей среды и т.д.

Выполнение указанных требований весьма важно по той причине, что при строительстве автомобильных дорог используются в большом объеме различные каменные материалы (щебень, гравий), расход которых в плотном теле часто составляет 3.0-3.5 тыс. м³, а на дорогах I-II категории 6.5-7.5 тыс. м³ на 1км дороги. В районах строительства, где нет каменных материалов, возникает необходимость в перевозках щебня, гравия, песка за сотни километров автомобильным транспортом, что удорожает их первичную стоимость в 3-4 раза и более [1, 2].

Указанное обстоятельство является главной причиной значительного удорожания дорожного строительства и замедления темпов производства работ, к тому же разработка карьеров приводит к нарушению экологического равновесия окружающей среды.

Как показали результаты многолетних исследований дорожных институтов, а также практический опыт проектирования и строительства, денежные и материальные затраты могут быть значительно снижены, если для устройства дорожных одежд вместо каменных материалов применять местные грунты.

Прочное и стабильное во времени основание и земляное полотно являются важнейшими факторами надежной работоспособности автомобильных дорог. Однако значительный рост объем земляных работ или отсутствие грунтов пригодных для их возведения методов и методик искусственного целенаправленного преобразования свойств, в первую очередь, местных глинистых грунтов различного возраста и генезиса, таких, как супеси, суглинки и глины требует разрабатывать методы улучшение свойств лессовых грунтов.

В настоящее время хорошо разработаны и широко применяются многочисленные методы искусственного улучшения свойств местных грунтов. В результате применения укрепленных грунтов создается реальная возможность ежегодного высвобождения сотен железнодорожных составов и многих тысяч автомобилей от перевозок каменного материала [3-8].

На результаты укрепления грунта существенно влияют свойства грунта и его гранулометрический и химический составы, а также состав и свойства вяжущих веществ и других добавок.

Исключительно важное значение для эффективного укрепления грунтов имеет последовательное выполнение требуемых технологических операций и обеспечение оптимального режима твердения и структурообразования укрепленного грунта.

В настоящее время проблема эффективного использования различных видов местных грунтов, укрепленных вяжущими материалами и другими химическими реагентами для устройства конструктивных слоев дорожных и аэродромных одежд, практически разрешена.

Такой огромный производственный опыт в мировой практике позволяет формулировать обоснованные практические рекомендации по дальнейшему более широкому применению укрепленных грунтов при строительстве автомобильных дорог и аэродромов.

В настоящее время широко используются органические вяжущие для укрепления грунтов, но в связи с удорожанием нефти и нефтепродуктов, трудность разработки нефти в Узбекистане, использование органических вяжущих как основных веществ для укрепления грунтов, становится невыгодным.

В современных условиях настоятельно необходимы новые эффективные технологии и более дешевые материалы, обеспечивающие высокое качество дорожных работ, новые методы улучшения грунтов.

Все методы искусственного улучшения инженерного поведения грунтов в соответствии с главными действующими факторами и получаемыми эффектами могут быть разделены на два направления:

- физико-механическая стабилизация;
- физико-химическое преобразование;

Физико-механическая стабилизация связана с процессом структурных перестроек в грунте под влиянием внешних напряжений и формированием новой структуры, равновесной новому напряженному состоянию. А также с перераспределением жидкой компоненты в грунтах.

Физико-химическое преобразование связано с процессом формирования искусственных твердых веществ, которые цементируют твердые структурные элементы грунтов [9].

В последнее время повысился интерес к методам физико-механической стабилизации грунтов с использованием гидрофобизирующих поверхностно-активных веществ.

Для искусственного целенаправленного изменения свойств природных глинистых грунтов в последнее время широко применяют стабилизаторы:



Рис. 1. При нашей работе мы рассматривали конкретно стабилизатор T-RRP

T-RRP действует в почве как катализатор и при правильном применении изменяет физико-химические свойства почвы, так что она при уплотнении достигает более высоких параметров плотности и стойкости,

чем это возможно в природе. Это происходит благодаря стойкому изменению вода связывающих сил, частиц почвы (коллоидов). Следствием является значительное прекращение капиллярности. Принципиально важно, чтобы частички почвы (коллоиды) контактировали с действующим веществом T-RRP. Действие проявляется только после оптимального уплотнения почвы. Его присутствие в грунте в значительной мере предотвращает разбухание. Ни влажность, ни мороз не изменяют это состояние [10].

Наряду с определением статических и динамических модулей упругости рабочего слоя земляного полотна на опытном участке и на существующих автомобильных дорогах, устанавливали прочностные характеристики лессового грунта - угла внутреннего трения и сцепления непосредственно на опытной секции с помощью специально сконструированного и изготовленного нами прибора одноплоскостного вращательного среза (а.с. № 1678969) [11].

Прочностные характеристики, определенные прибором одноплоскостного вращательного среза, для контроля сопоставляли со значениями угла внутреннего трения и удельного сцепления, полученного в лабораторных условиях прибором Маслова-Лурье при испытании отобранных с места строительства монолитов грунта.

После статистической обработки, обобщенные и осредненные (табл. 1 и 2) значения модуля упругости, сцепления и угла внутреннего трения слесового грунта, определенные в лабораторных и полевых условиях в зависимости от коэффициента уплотнения и расчетной влажности с учетом выше указанных коэффициентов вариации были рекомендованы их расчетные значения.

Для расчета толщины дорожной одежды, зная расчетную влажность, коэффициент уплотнения и тип грунта, можно воспользоваться формулами (1) и (2), в которых учтены расчетные значения модулей упругости. Нами сделана попытка получить аналитическую зависимость модуля упругости от отмеченных выше показателей, позволяющую более точно определить его значения.

Таблица 1- Расчетные характеристики лессовых грунтов без стабилизатора

Грунт	Коэффициент уплотнения K_u	Расчетные характеристики, при расчетной влажности, доли W_T			
		0.55	0.60	0.65	0.70
1	2	4	5	6	7
Супеси пылеватые	0.94	70/31	67/27	62/24	58/23
		0.031	0.028	0.024	0.019
	0.96	76/31	73/27	69/24	65/23
		0.039	0.036	0.031	0.027
	0.98	86/31	82/27	77/24	74/23
		0.049	0.044	0.040	0.036
	1.00	96/31	91/27	89/24	84/23
		0.060	0.054	0.049	0.043

Таблица 2.

Расчетные характеристики лессовых грунтов с стабилизаторами

Грунт	Коэффициент уплотнения K_u	Расчетные характеристики, при расчетной влажности, доли W_T			
		0.55	0.60	0.65	0.70
1	2	4	5	6	7
Супеси пылеватые	0.94	78/33	75/28	69/25	65/24
		0,036	0.032	0.028	0.022
	0.96	85/33	82/28	77/25	73/24
		0.045	0.041	0.036	0.031
	0.98	96/33	92/28	86/25	83/24
		0.056	0.051	0.046	0.041
	1.00	107/33	102/28	100/25	94/24
		0.069	0.062	0.056	0.049

Примечание: 1. В числителе: слева - модуль упругости, МПа; справа угол внутреннего трения, град.; знаменатель - удельное сцепление, МПа.

Сравнение приведенных цифровых значений 14 МПа и 26 МПа позволяет сделать вывод о том, что модуль упругости грунтов при $I_p = \text{const}$, особое влияние оказывает плотность грунтов, далее влажность грунтов при испытании.

Полученные таким образом характеристики лессовых грунтов рабочего слоя со и без стабилизатора от коэффициента уплотнения K_u и влажности грунтов при испытаний W_p имеют вид:

Полученные характеристики лессовых грунтов без стабилизаторов:

$$\left. \begin{aligned} E^{\delta e z} &= E_0(1.625 - 1.14W_p) + \Delta E_y^1(17.24K_y - 16.21) \\ C^{\delta e z} &= C_0(2.45 - 2.61W_p) + \Delta C^1(16.67K_y - 15.66) \\ \varphi^{\delta e z} &= \varphi_0(2.06 - 1.935W_p) \end{aligned} \right\}$$

Полученные характеристики лессовых грунтов со стабилизаторов:

$$\left. \begin{aligned} E^{co} &= E_0(1.80 - 1.22W_p) + \Delta E_y^1(19.13K_y - 17.99) \\ C^{co} &= C_0(2.52 - 2.68W_p) + \Delta C^1(17.17K_y - 16.12) \\ \varphi^{co} &= \varphi_0(2.38 - 2.24W_p) \end{aligned} \right\}$$

где: $E_0=72$ МПа; $\Delta K_y=26$ МПа; $C_0=0.031$ МПа; $\Delta C^1=0.029$ МПа; $\varphi_0=310$;

Чтобы убедиться, что полученное уравнение действительно с достаточной точностью описывает изучаемый процесс, определяли дисперсией неадекватности и дисперсией воспроизводи мости.

Результаты исследований свойств грунтов и пробные расчеты конструкции дорожных одежд свидетельствуют о том, что при расчете дорожных одежд прочность в условиях засушливого климата и использовании лессовых грунтов при расчетной влажности и требуемом коэффициенте уплотнения критерий сдвигоустойчивости (в соответствии с МКН 46-08 [12]) практически всегда обеспечивается. В худшем случае (при влажности $0.7W_0$) $\tau_{ДОП}/\tau = 4$ и условие $K_{пр} < \tau_{ДОП}/\tau$ (где $K_{пр}$ - минимальное значение коэффициента прочности, определяемое с учетом заданного уровня надежности; $\tau_{ДОП}$ - допустимое напряжение сдвига в грунте; τ - активное напряжение сдвига в грунте от действия кратковременной или длительной нагрузки) выполняется.

В реально применяемых конструкциях, при снижении влажности уплотнения, модуль упругости (при расчетной влажности) существенно повышается (до 18%), что отражается на конструкции дорожной одежды, рассчитанной по критерию упругого прогиба. Поэтому в этих условиях модуль упругости является в большинстве случаев определяющим.

1. Экспериментальные исследования проведенных в лабораторных условиях показали, что при применение стабилизатора T-RRP оптимальная влажность у супесей снижается на 25%, а максимальная плотность сухого грунта возрастает на 3%.

2. Размыкаемый системы «лессовый грунт - T-RRP» снижается в 2 раза по сравнению с необработанным грунтом.

3. Объем величины деформации пучения грунта, обработанного стабили-затором, на 11,5% меньше общей величины деформации изучения грунта, не обработанного стабилизатором.

4. Экономический эффект применение стабилизатора T-RRP может достигать 30% от стоимости дороги за счет применения местных стабилизированных грунтов, возможности снижения толщины дорожной

одежды или повышения её долговечности вследствие роста прочности обработанных стабилизатором грунтов.

Литература

1. Худайкулов Р.М. Применение стабилизаторов для улучшения свойств связных грунтов. Диссертация на соискание ученой степени магистра наук. -Ташкент: 2011 г., -75 с.
2. Kayumov A. D., Makhmudova D. A., Hudaykulov R.M. Improvement of the properties of soils subject to automobile loads. // Transport Problems - Poland, 2018. 342-344 p.
3. Guideline on the Use of Sand in Road Construction in the SADC Region AFCAP/GEN/028/C. 2013, p.81
4. Geotechnical, Geological and earthquake engineering. Water in road structures Movement, Drainage effects andrew dawson editor. University of Nottingham, UK. 2008, p. 436
5. Experimental Investigation of Water Migration Characteristics for Saline Soil. Pol. J. Environ. Stud. Vol. 28, No. 3 (2019), pp.1495-1505
6. Zhang X., Wang Q., Wang G., Wang W., Chen H., zhang Z. A Study on the Coupled Model of Hydrothermal-Salt for Saturated Freezing Salinized Soil. Mathematical Problems in Engineering, 2, 1, 2017.
7. Каюмов А.Д., Худойкулов Р.М., Усманова А. Применение стабилизаторов для улучшения свойства грунтов. - Ташкент: труды ТАДИ, 2010. Ч. 1, 208-211 с.с.
8. Kayumov, A.D., Agzamov, I.A., Hudaykulov, R.M. The saline soil road upper. Tashkent 2013.130 p.
9. Бабаскин Ю.Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог. – Минск: УП Технопринт 2002 г., -177с.
10. Кочеткова Р.Г. Особенности улучшения свойств глинистых грунтов стабилизаторами. Кочеткова // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2006 г. № 3. - С. 23-27.
11. А. с № 1678969./ Устройство для определения свойств грунтов. Бюлл. Изобр. 1991. № 35.
12. МКН 46-2008. Инструкция по проектированию нежестких дорожных одежд. – Ташкент, 2008 г. -246 с.