Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №1, Том 6 / 2019, No 1, Vol 6 <https://t-s.today/issue-1-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/14SATS119.pdf>

DOI: 10.15862/14SATS119 (<http://dx.doi.org/10.15862/14SATS119>)

Статья поступила в редакцию 09.02.2019; опубликована 01.04.2019

Ссылка для цитирования этой статьи:

Худайкулов Р.М., Мирзаев Т.Л. Применение стабилизаторов для улучшения прочности грунтового основания автомобильных дорог // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №1, <https://t-s.today/PDF/14SATS119.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/14SATS119

For citation:

Hudaykulov R.M., Mirzayev T.L. (2019). The use of stabilizers to improve the strength of the soil foundation of roads. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/14SATS119.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/14SATS119

Статья написана в рамках работы по заказу Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

УДК 625.76.031

Худайкулов Рашидбек Мансуржанович

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, Ташкент, Узбекистан
Заведующий кафедрой
Доктор философии по техническим наукам (PhD), специалист по автомобильным дорогам
E-mail: Rashidbek_19_87@mail.ru

Мирзаев Тохиржон Лутфуллаевич

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, Ташкент, Узбекистан
Старший преподаватель
Доктор философии по техническим наукам (PhD), специалист по автомобильным дорогам

Применение стабилизаторов для улучшения прочности грунтового основания автомобильных дорог

Аннотация. В данной статье рассмотрены улучшения, прочностные и деформационные характеристики лёссовых грунтов, используемых при строительстве дорожных одежд с стабилизатором Т-RRP. При помощи лабораторных анализов разработана рекомендация по применению стабилизаторов для улучшения свойств лёссовых грунтов, используемых при расчете конструкции дорожных одежд.

Применение стабилизаторов в дорожном строительстве, в частности Т-RRP, дает следующие преимущества: 1. Экономия времени при строительстве; 2. Экономия обычных строительных материалов; 3. Отпадают транспортные расходы; 4. Экономия финансовых работ впоследствии; 5. Отсутствие ремонтных работ впоследствии; 6. Минимальное использование машин; 7. Минимальное использование рабочей силы.

Степень адекватности выполнения проекта. Заинтересованными предприятиями от выполнения проекта являются: ООО «FAYANTRANS» и СДРСО «Автомагистраль» ГАК «Узавтойул».

Значимость окончательных результатов: предлагаемые методы строительства дорог, по сравнению с традиционными способами дает следующее преимущество: допустимая нагрузка на дороги, построенные с применением стабилизаторов, увеличивается более чем вдвое по

сравнению с дорогами, построенными обычным способом; уменьшение толщины дорожной одежды более чем на 25 % на грунте, обработанном с помощью стабилизаторов; построенные с применением стабилизаторов дороги из года в год увеличивают свою прочность; улучшается прочность и устойчивость водно-физических свойств глинистых грунтов, используемых при возведении автомобильных дорог, аэродромов, гидротехнических сооружений; строительство с применением стабилизаторов отвечает требованиям экологии, так как при этом не производится вредное влияние на грунтовые воды.

Кроме выше отмеченных преимуществ, применение стабилизатора позволяет: увеличить срок службы покрытий; получать экономию средств на содержание и ремонт; повысить темпы строительства; повысить качество возводимых сооружений.

Ключевые слова: стабилизация; гидрофобизация; поверхностно-активные вещества; лёссовые грунты; прочность при сжатии; прочность при изгибе; водоустойчивость; набухание; цемент; органические вяжущие

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 1 км 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 улучшения свойств лёссовых 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].

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 [4].

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:

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 [5].

При проведении исследований в лабораторных и полевых условиях с целью выявления влияния стабилизаторов на свойства уплотненного грунта использовали различные по генетическому типу и пластичности лессовые грунты (табл. 1) аллювиальные и пролювиальные проникновения.

Таблица 1

Характеристика лессовых грунтов

№	Грунты (место отбора пробы, автомобильная дорога)	Число пластичности	Влажность (%) на границе		Гранулометрический состав, %			Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность, кг/м ³
			Текучести, %	Раскатывания, %	Песок	Пыль	Глина		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Пролувиальная лессовая супесь тяжелая пылеватая (г. Гулистан-Охангаран)	5.50	27.50	22.00	22.00	68.00	10.00	17.50	1780
2	Аллювиальный лессовый суглинок легкий пылеватый (г. Ташкент)	8.05	25.01	16.96	20.15	85.25	12.60	14.58	1840

Составлено авторами

Поверхностно-активные вещества применяются в малых количествах до 0,005 % по массе. Наибольший эффект изменения свойств системы зависит от минералогического состава, генезиса глинистого грунта, типа стабилизатора и обычно устанавливается в лаборатории экспериментальным путем.

Изменения свойств систем «глинистый грунт гидрофобизирующее ПАВ» выполнялись на двух типах лёссовых суглинках и супесях. Суглинки взяты из ТКАД, а супеси из автомобильная дорога обход к Гулистан.

Для стабилизаторов T-RRP и Рoadбонд определили максимальную плотность грунтов по методике ГОСТ 22733-77 [6] с использованием воды и водных растворов ПАВ. Результаты опытов показаны на рис. 1 и 2.

Рисунок 1. Зависимость плотности сухого грунта от влажности при стандартном уплотнении супеси для: 1 – воды; 2 – водного раствора стабилизатора Родбонд оптимальной концентрации; 3 – то же, для стабилизатора T-RRP (составлено авторами)

Рисунок 2. Зависимость плотности сухого грунта от влажности при стандартном уплотнении суглинка для: 1 – воды; 2 – водного раствора стабилизатора Родбонд оптимальной концентрации; 3 – то же, для стабилизатора T-RRP (составлено авторами)

В соответствии с теоретическими представлениями оптимальная влажность у супесей снижается на 25 %, а максимальная плотность сухого грунта возрастает на 3 % при применении стабилизатора T-RRP и практически не изменяется при применении стабилизатора Родбонд по сравнению с необработанными грунтами.

Для моренных суглинков, обработанных стабилизаторами, оптимальная влажность снижается на 9 %, но плотность сухого грунта при этом возрастает на 2 % (коэффициент уплотнения $K_y = 1,02$).

Одним из недостатков систем «глинистый грунт гидрофобизирующее ПАВ» является их низкая водостойчивость. При помещении образцов в воду они теряют прочность и полностью разрушаются.

Для оценки влияния T-RRP на прочностные характеристики, т.е. при определении сопротивления сдвигу лессовых грунтов использовали прибор Маслова-Лурье (ГГП-30). Прибор ГГП-30 состоит из следующих узлов: рабочего столика; срезывателя; загрузочного устройства, обеспечивающего передачу вертикального давления на образец грунта; подъемного устройства подвижной панели и механизма для передачи на образец на образец горизонтального сдвигающего усилия [7].

Уплотнение грунта производилось без бокового расширения в стандартном кольце от сдвигового прибора. Образцы грунта подготовлены следующим образом. Предварительно высушенный грунт просеивали через сито $d = 2$ мм и увлажняли до 0,55, 0,60, 0,65, 0,70 Вт. Для равномерного распределения влаги увлажненный грунт подержали в эксикаторе. После 24 часов подготавливали образцы, уплотненные до плотности 0,94, 0,95, 0,96, 0,97, 0,98 и $1,0 \rho_{d_{\max}}$

На рис. 3а,б,в,г. показаны подготовки образцов грунта с стабилизаторами в лабораторных условиях:

Рисунок 3. Подготовка образца грунта со стабилизаторами для определения прочностных характеристик (фото авторов)

Ставят кольцо с грунтом на прибор и дают вертикальную нагрузку. При помощи вертикальной нагрузки грунт сжимается. Потом дают постепенно горизонтальную (сдвигающую) нагрузку до тех пор, пока грунт не сдвинется. Это испытание производят 3 раза при вертикальном весе груза равном 2, 4, 6 кг.

По полученным результатам можно сделать следующий вывод: у грунтов, обработанных стабилизатором, увеличивается угол внутреннего трения и сцепления.

На основе метода математического планирования эксперимента, нами получены уравнения регрессии, характеризующие изменения расчетных характеристик лессовых грунтов без стабилизатора в зависимости от коэффициента уплотнения, расчетной влажности и числа пластичности, которые позволили сделать некоторые важные выводы.

Результаты экспериментальных работ по определению расчетных характеристик лессовых грунтов в зависимости от коэффициента уплотнения (K_y), расчетной влажности (W_p) и числа пластичности (I_p) в дальнейшем будем называть факторами.

$$E = f(K_y, W_p, I_p); \quad (1)$$

Удельные нагрузки на лессовые грунты земляного полотна прикладывали в соответствии с предложением [8]. В зависимости от влажности грунтов при испытании и способа нагружения удельные нагрузки имели значения 0.03–0.2 МПа.

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)¹.

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. 2 и 3) значения модуля упругости, сцепления и угла внутреннего трения с лёссового 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.

Таблица 2

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 0.031	67/27 0.028	62/24 0.024	58/23 0.019
	0.96	76/31 0.039	73/27 0.036	69/24 0.031	65/23 0.027
	0.98	86/31 0.049	82/27 0.044	77/24 0.040	74/23 0.036
	1.00	96/31 0.060	91/27 0.054	89/24 0.049	84/23 0.043

Составлено авторами

Таблица 3

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 0.036	75/28 0.032	69/25 0.028	65/24 0.022
	0.96	85/33 0.045	82/28 0.041	77/25 0.036	73/24 0.031
	0.98	96/33 0.056	92/28 0.051	86/25 0.046	83/24 0.041
	1.00	107/33 0.069	102/28 0.062	100/25 0.056	94/24 0.049

Примечание: В числителе: слева – модуль упругости, МПа; справа угол внутреннего трения, град.; знаменатель – удельное сцепление, МПа (составлено авторами)

Для расчета толщины дорожной одежды, зная расчетную влажность, коэффициент уплотнения и тип грунта, можно воспользоваться формулами (2) и (3), 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.

¹ А.с. № 1678969 / Устройство для определения свойств грунтов. Бюлл. Изобр. 1991. № 35.

Сравнение приведенных цифровых значений 14 МПа и 26 МПа позволяет сделать вывод о том, что модуль упругости грунтов при $I_p = const$, 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_y и влажности грунтов при испытаний W_p имеют вид:

Полученные характеристики лессовых грунтов без стабилизаторов:

$$\left. \begin{aligned} E^{\text{без}} &= E_0 (1.625 - 1.14 W_p) + \Delta E_y^1 (17.24 K_y - 16.21) \\ C^{\text{без}} &= C_0 (2.45 - 2.61 W_p) + \Delta C^1 (16.67 K_y - 15.66) \\ \varphi^{\text{без}} &= \varphi_0 (2.06 - 1.935 W_p) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Полученные характеристики лессовых грунтов со стабилизаторов:

$$\left. \begin{aligned} E^{\text{со}} &= E_0 (1.80 - 1.22 W_p) + \Delta E_y^1 (19.13 K_y - 17.99) \\ C^{\text{со}} &= C_0 (2.52 - 2.68 W_p) + \Delta C^1 (17.17 K_y - 16.12) \\ \varphi^{\text{со}} &= \varphi_0 (2.38 - 2.24 W_p) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где: $E_0 = 72 \text{ МПа}$; $\Delta K_y = 26 \text{ МПа}$; $C_0 = 0.031 \text{ МПа}$; $\Delta C' = 0.029 \text{ МПа}$; $\varphi_0 = 31^\circ$.

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

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 сдвигаустойчивости (в соответствии с МКН 46-08² [10]) практически всегда обеспечивается. В худшем случае (при влажности $0.7 W_0$) $\tau_{\text{доп}} / \tau = 4$ и условие $K_{\text{пр}} < \tau_{\text{доп}} / \tau$ (где $K_{\text{пр}}$ – минимальное значение коэффициента прочности, определяемое с учетом заданного уровня надежности; $\tau_{\text{доп}}$ – 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 применении стабилизатора Т-RRP оптимальная влажность у супесей снижается на 25 %, а максимальная плотность сухого грунта возрастает на 3 %.
2. Размыкаемый системы «лессовый грунт – Т-RRP» снижается в 2 раза по сравнению с необработанным грунтом.

² МКН 46-2008. Инструкция по проектированию нежестких дорожных одежд. – Ташкент, 2008 г. – 246 с.

3. Объем величины деформации пучения грунта, обработанного стабилизатором, на 11,5 % меньше общей величины деформации излучения 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.

Результаты нашей разработки применены в Узбекистане с подразделениями ГАК "Узавтойул".

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. Каюмов А.Д., Худойкулов Р.М., Усманова А. Применение стабилизаторов для улучшения свойства грунтов. – Ташкент: труды ТАДИ, 2010. Ч. 1, 208–211 с.
4. Бабаскин Ю.Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог. – Минск: УП Технопринт 2002 г., – 177 с.
5. Кочеткова Р.Г. Особенности улучшения свойств глинистых грунтов стабилизаторами. Кочеткова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006 г. № 3. – С. 23–27.
6. ГОСТ 22733-77. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Введ. 01.07.78. М.: Изд-во стандартов, 1987 г.
7. Neal B.G. The Design of Piled Foundations. Edition Structures and Solid Body Mechanics. 2013. – 228 p. – Предм. указ.: с. 35–42.
8. Ушаков В.В., Ольховиков В.М. и др. Строительство автомобильных дорог: учебник // коллектив авторов; под ред. В.В. Ушакова и В.М. Ольховикова. – Москва. КНОРУС, 2013. – 576 с. – Предм. указ.: с. 157–162.

Hudaykulov Rashidbek Mansurjanovich

Tashkent institute of design, construction and maintenance of automobile roads, Tashkent, Uzbekistan
E-mail: Rashidbek_19_87@mail.ru

Mirzayev Tokhirjan Lutfullayvich

Tashkent institute of design, construction and maintenance of automobile roads, Tashkent, Uzbekistan

The use of stabilizers to improve the strength of the soil foundation of roads

Abstract. This article describes the improvements, strength and deformation characteristics of loess soils used in the construction of road pavements with a stabilizer T-RRP. With the help of laboratory analyzes, a recommendation was developed on the use of stabilizers to improve the properties of loess soils used in the calculation of the pavement design.

The use of stabilizers in road construction, in particular T-RRP, gives the following advantages:

1. Time savings during construction; 2. Saving ordinary building materials; 3. Shipping costs are eliminated; 4. Saving financial work afterwards; 5. Lack of repair later; 6. Minimal use of machines. 7. Minimal use of working force.

The degree of adequacy of the project. Interested enterprises in the project are: LLC «FAYANTRANS», PEC «Avtomagistral», SRRCO «Uzavtoyul».

The significance of the final results: the proposed methods of road construction, compared with traditional methods, gives the following advantages: the permissible load on roads constructed with the use of stabilizers in more than doubled compared to roads built in the usual way; reducing the thickness of the pavement by more than 25 % on the soil treated with stabilizers; built with the use of stabilizers roads increase their strength year after year; strength and stability of water-physical properties of clay soils used in the construction of roads, airfields, hydraulic structures; building with the use of stabilizers meets the requirements of ecology since it doesn't produce harmful effect on groundwater.

In addition to the advantages noted above, the use of stabilizers allows: increase the service life of coatings; get savings on maintenance and repair; increase the pace of construction; improve the quality of structures being built.

Keywords: stabilization; hydrophobization; surfactants; loess soils; compressive strength; flexural strength; water resistance; swelling; cement; organic binders

REFERENCES

1. Khudaykulov R.M. (2011). *Primenenie stabilizatorov dlya uluchsheniya svoystv svyaznykh gruntov*. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni magistra nauk. [*The use of stabilizers to improve the properties of cohesive soils. Thesis for the degree of Master of Science.*] Tashkent, p. 75.
2. Kayumov A.D., Makhmudova D.A., Hudaykulov R.M. (2018). Improvement of the properties of soils subject to automobile loads. *Transport Problems – Poland*, pp. 342–344.
3. Kayumov A.D., Khudoykulov R.M., Usmanova A. (2010). *Primenenie stabilizatorov dlya uluchsheniya svoystva gruntov. Chast' 1.* [*The use of stabilizers to improve the properties of soils. Part 1.*] Tashkent: Works Tashkent Automobile and Road Institute, pp. 208–211.
4. Babaskin Yu.G. (2002). *Ukreplenie gruntov in'ektirovaniem pri remonte avtomobil'nykh dorog*. [*Strengthening of soils by injection at road repair.*] Minsk: UE Technoprint, p. 177.
5. Kochetkova R.G. (2006). Features improve the properties of clay soils stabilizers. Kochetkova. *Science and technology in the road sector*, 3, pp. 23–27 (in Russian).
6. (1987). GOST 22733-77. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya maksimal'noy plotnosti. Vved. 01.07.78. [*GOST 22733-77. Soils. The method of laboratory determination of maximum density. Enter 07/01/78.*] Moscow: Standards Publishing House, p. 177.
7. Neal B.G. (2013). *The Design of Piled Foundations*. Edition Structures and Solid Body Mechanics, p. 228, pp. 35–42.
8. Ushakov V.V., Ol'khovikov V.M. and etc. (2013). *Stroitel'stvo avtomobil'nykh dorog: uchebnik*. [*Road construction: textbook.*] Moscow: KNORUS, p. 576, pp. 157–162.