

УКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ВЯЖУЩИМ

The article is dedicated to problem connected with transport mastering timber fund, which at present is mainly connected with construction of the roads on weak soil. For eliminating or partial reduction these defect are used multifunction cement forms the bitumen of the mark BND-40/60. For analysis of the work to road design, containing consolidated multifunction cement layer, studies were organized in laboratory condition, which have confirmed the possibility of the increase carrying abilities soil covering and bases proposed by method.

Введение. Работа лесного комплекса в значительной степени зависит от ритмичной работы лесовозного автотранспорта на вывозке заготовленного леса, которая определяется эксплуатационным состоянием лесотранспортных путей. С течением времени дорожные покрытия под воздействием подвижной нагрузки (лесных машин и лесовозного автотранспорта) изнашиваются, а под воздействием погодно-климатических факторов изменяется прочность и устойчивость земляного полотна и материалов дорожной одежды. В связи с этим усиление лесных дорог в период их эксплуатации с целью восстановления первоначальной прочности и устойчивости является весьма актуальным.

Транспортное освоение лесосечного фонда главным образом связано со строительством дорог на слабых грунтах. Строительство и эксплуатация лесных дорог в таких условиях сопряжена с большими трудностями, тем более что в последние годы наметился переход на использование менее качественных местных материалов и грунтов, которые отличаются низкой несущей способностью. Для улучшения их физико-механических свойств и повышения несущей способности применяются различные инженерные решения: укрепление вяжущими материалами, скелетными добавками и др.

Многолетний опыт укрепления грунтов органическими вяжущими показывает, что свойства укрепленного грунта в значительной степени зависят от его гранулометрического состава. Лучшие результаты получаются при укреплении супесчаных и легкосуглинистых грунтов. Наименьшую прочность имеет легкий пылеватый суглинок, что подтверждает отрицательное влияние пылеватых частиц на свойства укрепленного грунта. Кроме того, процессы структурообразования при укреплении грунтов наилучшим образом протекают только при определенном количестве воды и вяжущего в грунте. Рядом проведенных исследований [1, 2] было установлено, что оптимальное количество воды и вяжущего равны и составляют по 0,3 от границы текучести укрепляемого грунта. Основные характеристики наиболее распространенных типов грунтов, используемых при укреплении, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики основных типов грунтов, используемых при укреплении

Грунт	Гранулометрический состав грунтов			Влажность		Число пластичности, F	Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность, $\gamma/\text{см}^3$
	песчаных	пылеватых	глинистых	граница текучести, %	граница раскатывания, %			
Супесь легкая	76,0	13,7	10,3	21,7	16,6	5,1	13,2	1,85
Суглинок тяжёлый	54,2	27,5	18,3	31,2	16,1	15,1	18,3	1,72
Глина песчаная	41,3	37,1	21,6	42,1	22,0	20,1	24,7	1,58

Опыт применения укрепленных грунтов в конструктивных слоях дорожных одежд позволил выявить как положительные, так и отрицательные их свойства. Укрепленные материалы дешевле привозных каменных, обладают более высокой пластичностью, положительно влияют на водно-тепловой режим земляного полотна и лучше, чем слои из дискретных материалов, распределяют напряжения. Вместе с тем укрепленные материалы имеют существенные недостатки, снижающие срок их службы и ограничивающие область их применения.

Для устранения или частичного уменьшения этих недостатков применяются комбинированные вяжущие. Комбинированным называется такое вяжущее, когда наряду с основным в грунт вводятся дополнительные вяжущие, обладающие повышенной химической активностью или восполняющие недостатки основного вяжущего.

Разработка состава комбинированного вяжущего. Основу разрабатываемого комбинированного вяжущего материала составляет битум марки БНД-40/60. Добавками к нему послу-

жат топочный мазут и гашеная известь. Применение данных добавок позволяет уменьшить расход битума на 20–25%. Гашеная известь принята в качестве основной добавки, так как это наиболее дешевый и распространенный материал. Прочностные же характеристики грунта, укрепленного этим комбинированным вяжущим, довольно высокие. На основе анализа научно-технической литературы [2–4] было принято решение не превышать дозировку извести в 5%, а мазута – в 2% от массы грунта. Битума взять 6% от массы грунта.

Для анализа работы дорожной конструкции, содержащей укрепленные комбинированным вяжущим слои, в лабораторных условиях были проведены исследования, которые подтвердили возможность увеличения несущей способности как грунтовых покрытий, так и оснований предлагаемым методом. Была изготовлена серия образцов и определены модули деформации и упругости. Модули деформации определялись с помощью рычажного пресса путем погружения штампа определенного диаметра в специально подготовленный образец грунта с одновременным замером величины осадки штампа при данной удельной нагрузке. Поскольку модуль деформации учитывает как упругие, так и остаточные деформации, которые возникают в грунте в результате действия нагрузки, именно его величина характеризует работоспособность дорожной конструкции в целом.

Исследовались образцы на основе супесчаного легкого грунта при оптимальной влажности ($W = 14\%$), которые можно условно разделить на три серии: серия 1 – формы образцов с грунтом, укрепленным вяжущим (6% битума марки БНД 40/60, 2% топочного мазута, 3% извести от массы грунта); серия 2 – формы образцов с укрепленным грунтом, содержащим 6% битума, 1,5% мазута, 4% извести); серия 3 – формы образцов с укрепленным грунтом, содержащим 6% битума, 1% мазута, 5% гашеной извести).

Подготовка исходных компонентов вяжущего материала: в водяной бане битум разогревался до температуры 60°C, к нему добавлялся топочный мазут и гашеная известь в необходимых пропорциях. При температуре 40–45°C данная смесь перемешивалась с грунтом. Грунтовая

смесь засыпалась в цилиндр в три слоя и уплотнялась. Данные операции проводились для каждой серии образцов с различным содержанием вяжущих. В каждой серии изготавливалось по шесть образцов. В табл. 2 приведено необходимое количество вяжущих материалов для изготовления образцов.

Подготовленные образцы в специальном цилиндре устанавливались на столик рычажного пресса, причем особое внимание обращалось на то, чтобы плоскость штампа плотно соприкасалась с поверхностью исследуемого образца без малейших перекосов. На горизонтальную площадку штампа ставилась ножка индикатора. Она вдавливалась в индикатор до последнего деления. При исследовании использовались два индикатора, которые крепились в специальных кронштейнах и устанавливались на плечиках штампа с двух сторон. Показания индикаторов записывались в специальную таблицу.

Нагрузка на штамп рычажного пресса увеличивалась ступенями по 0,32 МПа. Каждая ступень нагрузки штампа выдерживалась до полного прекращения осадки штампа (изменение отсчетов по индикаторам не превышало 0,01 мм за 3 мин).

По результатам испытаний построен график зависимости вертикальных смещений в грунте от нагрузок на грунт образца (рис. 1). Далее на основании графика проводились вычисления модуля деформации и модуля упругости грунта.

Каждую кривую осадки штампа на данном графике можно разделить на три участка в зависимости от явлений, происходящих в грунтовом образце при деформации от вдавливания штампа. На первом участке (I) происходит сжатие грунта, при котором наблюдается пропорциональность между деформацией и нагрузкой, т. е. формально соблюдается закон Гука – на этом участке грунт уплотняется и упрочняется. Второй участок (II) представляет собой фазу местных сдвигов – в массиве грунта в отдельных местах происходят сдвиги наряду с продолжающимся уплотнением. Третий участок (III) соответствует фазе разрушения внутренней структуры грунта – сопротивление грунта сдвигу достигает критической величины и образец разрушается.

Таблица 2

Необходимое количество вяжущих материалов

Номер серии	Расходы исходных компонентов для приготовления комбинированного вяжущего, % от массы грунта						Всего грунта на серию, кг
	Битум		Топочный мазут		Известь гашеная		
	%	масса, кг	%	масса, кг	%	масса, кг	
1	6,0	1,06	2,0	0,35	3,0	0,53	17,68
2	6,0	1,05	1,5	0,26	4,0	0,7	17,50
3	6,0	1,04	1,0	0,17	5,0	0,87	17,42

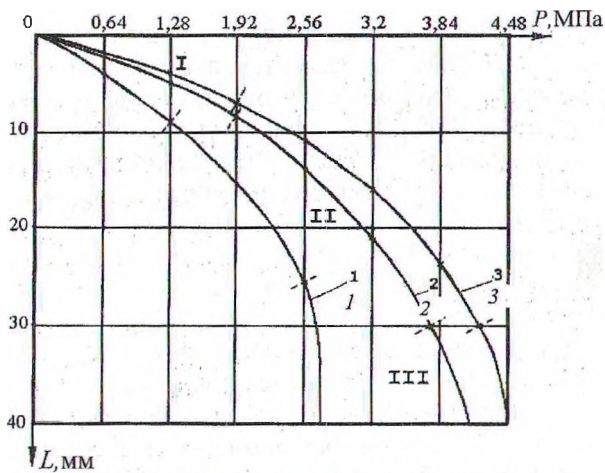


Рис. 1. Зависимость между нагрузкой и вертикальными смещениями в грунте:
1 – укрепленный грунт с вяжущим (6,0% битум + 2,0% мазут + 3,0% известь); 2 – грунт с вяжущим (6,0% битум + 1,5% мазут + 4,0% известь); 3 – грунт с вяжущим (6,0% битум + 1,0% мазут + 5,0% известь)

Модули деформации образцов рассчитывались по формуле

$$E_d = \frac{p \cdot D}{l}, \quad (1)$$

где p – удельная нагрузка на штамп, МПа; D – диаметр штампа, см; l – абсолютная осадка штампа, см.

Тогда модули деформации соответствующих серий укрепленных грунтов будут равны:

$$E_d^1 = 40,9 \text{ МПа}; \quad E_d^2 = 51,2 \text{ МПа};$$

$$E_d^3 = 51,2 \text{ МПа}.$$

Модули упругости, которые характеризуются сопротивлением деформированию грунта под действием внешних нагрузок в стадии упруго-обратимых деформаций, рассчитывались по формуле

$$E_y = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{pD \cdot (1 - \mu^2)}{l_y}, \quad (2)$$

где p – удельная нагрузка, МПа, взятая с первого участка графика осадки штампа на рис. 1; D – диаметр штампа, см; $\pi/4$ – поправочный коэффициент, учитывающий использование при испытании жесткого штампа; μ – коэффициент Пуассона, $\mu = 0,3$; l_y – величина упругой (обратимой) деформации, см.

Модули упругости составили для образцов:

$$E_y^1 = 28,8 \text{ МПа}, \quad E_y^2 = 66,9 \text{ МПа}, \quad E_y^3 = 76,7 \text{ МПа}.$$

Очевидно, что при введении в испытуемый образец грунта комбинированного вяжущего прочностные характеристики образца (модули упругости и деформации) увеличиваются, в данном случае у образца № 3 по сравнению с образцом № 1 модуль деформации возрос в

1,25 раза, а модуль упругости в 2,66 раза. Для грунта $E_y = 12,7$ МПа.

Приготовление смеси и обработка грунта смешением будет проводиться на дороге при помощи однопроходной грунтосмесительной машины. Этот способ работ более совершенный и производительный, чем использование дорожных фрез, требующих большого числа проходов по одному следу.

В результате проведенного анализа, в качестве рабочей выбрана однопроходная грунтосмесительная машина типа Д-391, которая имеет четыре ротора и осуществляет за один проход размельчение грунтов, дозирование сыпучих и вязкожидких вяжущих материалов, перемешивание этих материалов с грунтом и частичное уплотнение слоя укрепленного грунта (рис. 2).

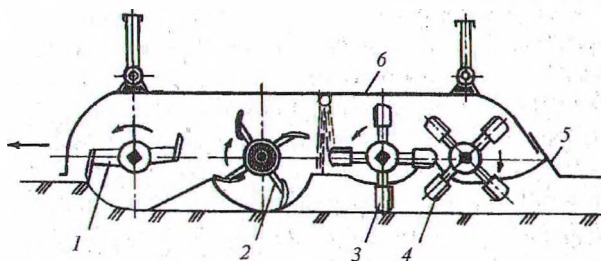


Рис. 2. Рабочий орган машины Д-391:
1 – 4 рабочие роторы; 5 – рабочая камера;
6 – защитный кожух

Машина передвигается на пневматических шинах, имеет четыре поступательные рабочие скорости – от 0,1 до 0,7 км/ч, обеспечивает ширину захвата 2,4 м и глубину обработки тяжелых связных грунтов до 0,20 м в плотном теле. Машина оборудована двумя дозировочными устройствами. Сыпучие порошкообразные вещества дозируются в количестве 15–60 кг/м² при работе на первой скорости и 10–30 кг/м² – на четвертой скорости. Техническая характеристика однопроходной грунтосмесительной машины приведена в табл. 3.

При укреплении грунтов машиной Д-391 земляное полотно должно быть особенно тщательно спланировано по рабочим отметкам с приданием ему требуемого по проекту поперечного профиля и однородным уплотнением обрабатываемого слоя грунта до 0,85–0,90 максимальной плотности. Нижележащий слой земли полотна должен иметь плотность не менее 0,95 от стандартного уплотнения. Однопроходная грунтосмесительная машина работает в комплекте с машинами, подвозящими к ней вяжущие материалы и другие вещества, – цементовозами, битумовозами и др.

Длину участка (сменную захватку) назначают с учетом свойств обрабатываемого грунта,

дозировки вяжущего, глубины обработки и погодных условий. При тяжелых грунтах длина участка составляет в среднем 200–250 м, при легких супесчаных грунтах 250–300 м. Готовая смесь грунта с вяжущими материалами и другими реагентами распределяется ровным слоем и прижимается задней стенкой рабочей камеры, а затем слегка укатывается задними колесами машины.

Таблица 3

Техническая характеристика Д-391

Показатель	Данные
Тип машины	Самоходная, однопроходная на пневмоходу
Марка двигателя	2Д12Б
Мощность двигателя, л. с	300
Вес, т	22,0
Скорости передвижения на передачах, рабочие, км/ч:	
1	
2	0,109
3	0,235
4	0,423
Скорость транспортная, км/ч	0,710
Ширина обработки, м	18,5
Глубина обработки, мм	2,4
Пределы дозирования вяжущего, л/м ² (кг/м ²), на скорости:	75–250
1	15–60 (6,2–7,7)
2	15–60 (2,8–3,6)
3	15–48 (1,6–2,0)
4	15–29 (1,0–1,2)
Точность дозирования, %	8–10 от установленной нормы
Ширина колеи передних колес, мм	1760
База машины, мм	6600
Радиус поворота, м	16
Дорожный просвет, мм	3500
Емкость расходного бункера минерального вяжущего, т	0,95

Закончив обработку грунта первой полосы на установленную глубину, поднимают рабочие органы из грунта и задним ходом передвигают машину в начальное положение. Вторым проходом обрабатывают правую сторону проезжей части, третьим проходом – ее среднюю (осевую) полосу (при большой ширине дорожного полотна). Смежные полосы перекрывают на 0,1–0,2 м.

Заключение. Использование комбинированного вяжущего позволяет оптимизировать процесс структурообразования, повысить адгезионные связи вяжущего и минеральной части материала. Добавки активных веществ в сочетании с основным вяжущим повышают водо- и морозостойкость цементогрунта, увеличивают водостойкость битумогрунта за счет лучшего сцепления пленок битума с поверхностью грунтовых частиц. Применение добавок позволяет также снизить расход основного вяжущего без потери прочностных свойств укрепленного грунта. В ближайшее время планируется разработать технологические карты укрепления грунтовых дорог разработанным комбинированным вяжущим и провести необходимые исследования в производственных условиях.

Литература

1. Безрук, В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве / В. М. Безрук. – М.: Транспорт, 1971. – 232 с.
2. Вырко, Н. П. Способ улучшения транспортно-эксплуатационных качеств лесных дорог / Н. П. Вырко, М. Т. Насковец, И. И. Тумашик // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. / БГПА. – Минск, 1996. – Ч. 2. – С. 19–22.
3. Вырко, Н. П. Дорожное грунтоведение с основами механики грунтов / Н. П. Вырко, И. И. Леонович. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – 224 с.
4. Васильев, Ю. М. Дорожные одежды с основами из укрепленных материалов / Ю. М. Васильев, В. П. Агафонцева, В. С. Исачев. – М.: Транспорт, 1989. – 191 с.