

Бургонутдинов А. М.

*Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
профессор кафедры Автомобильные дороги и мосты, д.т.н.*

Колобова А. А.

*Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
старший преподаватель кафедры Автомобильные дороги и мосты*

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ И
НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА
ПАРОГИДРОИЗОЛИРУЮЩИХ ПРОСЛОЕК В ЗЕМЛЯНОМ
ПОЛОТНЕ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

Аннотация: На базе Пермского национального исследовательского политехнического университета нами проводились исследования о применении нефтесодержащих отходов и нефтезагрязненных грунтов для устройства парогидроизолирующих прослоек в земляном полотне лесовозной автомобильной дороги, как один из способов по борьбе с морозным пучением, с разработкой мероприятий о минимизации отрицательного воздействия полученных материалов на окружающую среду.

Парогидроизолирующие слои и прослойки устраивают в земляном полотне автомобильной дороги, сложенном из пучинистых грунтов, предотвращая тем самым зимнее поднятие влаги из нижележащих слоев к зоне промерзания.

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы; нефтезагрязненные грунты; парогидроизолирующие слои.

Burgonutdinov A. M.

Perm national research polytechnic university

Professor of the Department of Highways and Bridges,

Doctor of Technical Sciences

Kolobova A. A.

Perm national research polytechnic university

Senior Lecturer of the Department of Roads and Bridges

**THE APPLICATION OF OIL-CONTAINING WASTE AND
OIL-CONTAINED SOILS FOR THE DEVICE OF VAPOR-HYDRO-
INSULATING LAYERS IN THE GROUND PATH OF A FOREST ROAD**

Annotation: On the basis of the Perm National Research Polytechnic University, we conducted research on the use of oily waste and oil-contaminated soils for the installation of vapor-water barrier layers in the subgrade of a logging road, as one of the ways to combat frost heaving, with the development of measures to minimize the negative impact of the obtained materials on the environment .

Vapor waterproofing layers and interlayers are arranged in the subgrade of the highway, composed of heaving soils, thereby preventing the winter rise of moisture from the underlying layers to the freezing zone.

Key words: oily waste; oil-contaminated soils; vapor barrier layers.

В лабораторных условиях были проведены опыты по определению коэффициента фильтрации, прочностных характеристик материала на

основе нефтезагрязненного грунта следующего состава (таблица 1, таблица 3).

Таблица 1 – Характеристики материала на основе нефтезагрязненного грунта

Состав, №	НЗГ, г (%)	Песок, г	Глина, г	Известь, г	Цемент, г	Тип грунта
1	200 (26%)	340	-	150	82	Супесь легкая крупная
2	200 (25%)	360	-	150	71	Супесь легкая крупная
3	200 (24%)	400	-	150	60	Супесь легкая крупная
4	160 (75%)	-	40	-	12	Суглинок тяжелый пылеватый
5	160 (75%)	-	40	-	16	Суглинок тяжелый пылеватый
6	160 (75%)	-	40	-	20	Суглинок тяжелый пылеватый
7	50 (7%)	400	-	-	82	Супесь легкая крупная

При определении коэффициента фильтрации получили следующие данные:

Таблица 2 – Коэффициент фильтрации

№ состава	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент фильтрации	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	2,15

Таким образом, установлено, что при содержании нефтезагрязненного грунта в материале свыше 12-14% коэффициент фильтрации приближенно равен нулю. Это означает, что поднятие жидкости по порам и капиллярам отсутствует.

Для определения прочностных характеристик были приготовлены и испытаны образцы следующего состава:

Таблица 3 – Состав образцов

Вяжущее	Цемент						Известь			
	Песчаный						Глинистый	Песчаный	Глинистый	
Скелетная добавка	Песок			Горелая порода			Песок	Песок		
№ состава	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	1.1	1.2	2.1
% вяжущего	5	10	15	5	10	15	10	10	15	20
% НЗГ	50									
% скелетной добавки	50									

Результаты испытаний образцов с цементом для определения предела прочности при сжатии приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний образцов

Номер образца	Предел прочности при сжатии, 7суток, МПа	Предел прочности при сжатии, 28суток, МПа
1.1.	0,932	1,913
1.2.	2,845	3,139
1.3.	3,041	-
2.1.	0,441	1,422
2.2.	0,589	1,815
2.3.	1,275	2,158
3.1.	0,147	0,294

Результаты испытаний образцов с известью для определения предела прочности при сжатии приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний образцов

Номер образца	Предел прочности при сжатии, 7суток, МПа	Предел прочности при сжатии, 28суток, МПа
1.1.	0,785	2,698
1.2.	0,098	3,090
2.1.	0,392	1,055

Результаты испытаний образцов с цементом для определения предела прочности на растяжение при расколе приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты испытаний образцов

Номер образца	Предел прочности на растяжение при расколе, 7суток, МПа
1.1.	0,009
1.2.	0,007

Таким образом, результаты лабораторных исследований материала на основе нефтезагрязненного грунта показывают, что он имеет достаточно высокие прочностные характеристики, позволяющие работать прослойке практически при любых условиях эксплуатации лесовозной дороги, имеет гидрофобные свойства, необходимые для работы прослойки в качестве парогидроизолирующей прослойки.

Остается доказать только экологическую безопасность функционирования прослойки.

Разделим мероприятия по защите окружающей среды на два периода (ступени). Первый период заключается в проектировании составов материалов с минимальным воздействием на гидросферу, биосферу и атмосферу. Отрицательное воздействие на атмосферу сводится к минимуму при условиях, что прослойка устраивается в земляном полотне, исключая выходы ее на поверхность (смотри схему расположения прослойки). Минимизация воздействия на гидросферу и биосферу заключается в том, что грамотное проектирование состава материала с учетом его максимального уплотнения (минимальной пористости). Это достигается в несколько этапов:

- определение характеристик используемого нефтезагрязненного грунта (содержания воды, нефтяных компонентов и грунта, с определением его гранулометрического состава);

- определение содержания нефтезагрязненного грунта в материале, обеспечивающего гидроизолирующие свойства прослойки;
- определение физико-механических свойств материала (тип грунта, плотность, влажность);
- назначение количества вводимого неорганического вяжущего (цемент) в зависимости от требуемых прочностных свойств;
- назначение количества вводимой молотой негашеной извести для доведения общей влажности материала до оптимальной.

При достижении коэффициента уплотнения материала до $K=0,98$ и выше водонефтяная смесь будет полностью заключена в порах материала.

На втором этапе во время эксплуатации лесовозной дороги (особенно в переходный период) возможна фильтрация водонефтяной смеси в грунтах земляного полотна, граничащих с прослойкой.

Количество водонефтяной смеси, проходящей через толщу нижележащих слоев земляного полотна, зависит от пористости материала.

Изменение пористости описывается как

$$P = 1 - \rho \cdot a, \quad (1)$$

где ρ - плотность материала, кг/м^3 , a - постоянная, $a = 4 \cdot 10^{-4}$.

Скорость фильтрации водонефтяной смеси зависит от извилистости пор и капилляров, которая определяется по эмпирической формуле [1]:

$$\xi = A \cdot \rho \cdot P^{0,5}, \quad (2)$$

где A - постоянная величина, зависящая от пористости материала, при $\rho \leq 1200 \text{ кг/м}^3$ $A = 772 \cdot 10^{-5}$, при $\rho > 1200 \text{ кг/м}^3$ $A = 312 \cdot 10^{-5}$.

Продолжительность истечения водонефтяной жидкости зависит от длины капиллярных и поровых трубок.

Учитывая, что

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (3)$$

$$V = S \cdot h, \quad (4)$$

где m - масса материала (кг) в объеме V (м^3), S - площадь поперечного сечения грунта объемом V , м^2 , h - возвышение прослойки над уровнем основания земляного полотна, м.

Общая площадь поперечного сечения пор:

$$S_n = P \cdot S, \quad (5)$$

где P - площадь пор в долях единицы.

С учетом выше приведенных формул получаем:

$$P = 1 - a \cdot \frac{m}{S_n \cdot l} = 1 - \frac{S \cdot h \cdot \rho \cdot P}{S_n \cdot l}, \quad (6)$$

$$l = h \cdot \xi = \frac{a \cdot m}{(P-1) \cdot S_n} = \frac{a \cdot S \cdot h \cdot \rho}{S_n \cdot (P-1)} \quad (7)$$

Площадь пор:

$$S_n = \frac{a \cdot S \cdot h \cdot \rho}{l \cdot (P-1)} = \frac{a \cdot S \cdot \rho}{\xi \cdot (P-1)}, \quad (8)$$

$$S_n = \pi \cdot R_n^2 \quad (9)$$

Радиус суммарной площади пор:

$$R_n = \left(\frac{a \cdot S \cdot \rho}{\pi \cdot \xi \cdot (P-1)} \right)^{1/2} \quad (10)$$

Суммарная поверхность пор:

$$S_n^n = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left(\frac{a \cdot S \cdot \rho}{\pi \cdot \xi \cdot (P-1)} \right)^{1/2} \quad (11)$$

Объем адсорбируемых на стенках пор ингредиентов:

$$V_H^A = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left(\frac{a \cdot S \cdot \rho}{\pi \cdot \xi \cdot (P-1)} \right)^{1/2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{2 \cdot K_{1i} \cdot \mu_{1i}^2 \cdot \mu_{2i}^2}{M_{2i} \cdot q \cdot K \cdot T} \right)^{1/7}, \quad (12)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий дисперсную и индукционную составляющие энергии взаимодействия молекул;

$\mu_{1i} \cdot \mu_{2i}$ - дипольные моменты взаимодействующих молекул i -го ингредиента нефтесодержащего вещества и i -й молекулы минеральных зерен грунта;

M_{2i} - масса i -й молекулы нефтесодержащего вещества;

q - ускорение свободного падения;

K - постоянная Стефана-Больцмана;

T - абсолютная температура смеси.

Время, необходимое для преодоления i -й молекулы расстояния H_n от центра поровой трубки до ее стенки:

$$\tau_a = \frac{H_n}{\frac{1}{q} \cdot \sqrt{\frac{0.7 \cdot \mu_{1i}^2 \cdot \mu_{2i}^2 \cdot K_1}{H_n^7 \cdot M_2 \cdot K \cdot T} \cdot (1 - e^{-2 \cdot q \cdot H_n})}} \quad (13)$$

Для обеспечения условия работы второй ступени защиты продолжительность истечения водонефтяной смеси по порам должна быть больше времени адсорбционного движения $\tau_n > \tau_a$.

Время истечения водонефтяной смеси по порам:

$$\tau_n = \frac{h_{cl} \cdot \xi}{v_n}, \quad (14)$$

где h_{cl} - толщина слоя уплотненного грунта в земляном полотне автомобильной дороги;

v_n - скорость движения водонефтяной смеси по порам.

$$v_n = -\frac{H_n^2}{8 \cdot \xi} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (15)$$

где $\frac{\partial p}{\partial x}$ - градиент давления на поверхности поровой воды в пограничной

зоне с парогидроизолирующей прослойкой;

H_n - расстояние от оси поры до ее стенки.

Таким образом, совместное решение уравнений (13) и (14) позволяет убедиться в экологической безопасности функционирования прослойки. В период наибольшего увлажнения земляного полотна вторая ступень защиты окружающей среды может быть достаточно эффективна.

На применение нефтезагрязненных грунтов в дорожном строительстве ПНИПУ, совместно с ООО «Природа-Пермь», разработан технологический регламент [2], получены соответствующие санитарно-эпидемиологические заключения.

Технология применения нефтезагрязненных грунтов в лесном дорожном строительстве в качестве парогидроизолирующей прослойки была внедрена при строительстве автомобильной дороги «п.Полазна – г.Чусовой» на участке ПК101-ПК102. Спустя 5 лет после сдачи дороги в эксплуатацию были проведены исследования по определению продольной и поперечной ровности покрытия. На всех участках применения прослойки параметры ровности не выходят за пределы, установленные нормативными документами, трещины, вызванные действием сил морозного пучения, отсутствуют. На участках, где прослойка не применялась, наблюдаются просадки и пучины земляного полотна, а также отклонения параметров ровности от нормативных показателей.

Использованные источники:

1. Шейдеггер А.Э. Физика течения жидкостей через пористые среды / А.Э.Шейдеггер. – М.: Гостехиздат, 1960.
2. Применение нефтезагрязненных грунтов в строительстве автомобильных дорог. Технологический регламент. – Пермь, 2003.
3. Лыков А.В. Теплообмен капиллярнопористых тел при обдувании их потоком разреженного газа / А.В.Лыков, Л.Л.Васильев // Тепло- и массообмен при низких температурах. – Минск: Наука и техника, 1970.