

А.А. Минзуренко

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОБОСНОВАНИЕ ТОЛЩИНЫ ПАРОГИДРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПРОСЛОЙКИ

Приведено обоснование толщины парогидроизолирующей прослойки, устраиваемой в земляном полотне автомобильной дороги. Расчет толщины прослойки учитывает поднятие капиллярной и поровой влаги в рассматриваемом слое, а также физико-механические свойства самого материала, применяемого для устройства парогидроизолирующей прослойки.

Ключевые слова: парогидроизолирующая прослойка, нефтезагрязненные грунты, коэффициент фильтрации.

Одним из способов борьбы с морозным пучением грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог, в том числе дорог промышленных предприятий и лесовозных дорог, является устройство парогидроизолирующих прослоек [1; 2].

Парогидроизолирующие прослойки закладывают в земляном полотне на расстоянии от поверхности покрытия 0,8 м от глубины промерзания, но не менее 0,5 м от низа дорожной одежды. Возвышение низа прослойки над уровнем грунтовых вод или длительно стоящих поверхностных вод должно быть не менее 0,5 м. В выемке рекомендуется устраивать парогидроизолирующие прослойки непосредственно под слоем основания дорожной одежды.

Снижение стоимости устройства таких прослоек обеспечивается максимальным использованием местных материалов, обладающих гидрофобизирующими свойствами. Наиболее распространенными в использовании на территории Пермского края являются отходы нефтяной промышленности.

Замена органических вяжущих и частично каменных материалов нефтезагрязненными грунтами и нефтешламами позволяет значительно снизить стоимость строительства парогидроизолирующих прослоек.

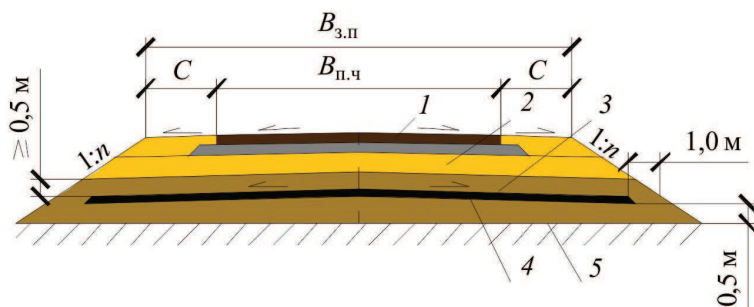


Рис. 1. Схема расположения прослойки в земляном полотне автомобильной дороги (насыпь): 1 – покрытие дорожной одежды; 2 – основание дорожной одежды; 3 – рабочий слой земляного полотна; 4 – парогидроизолирующая прослойка; 5 – основание земляного полотна; C – ширина обочины; $B_{п.ч}$ – ширина проезжей части; $B_{з.п}$ – ширина верха земляного полотна; n – коэффициент заложения откоса насыпи

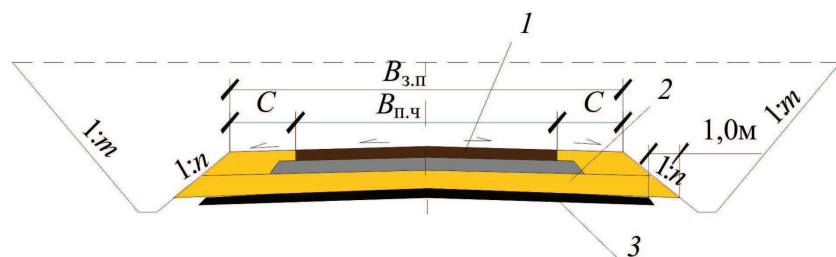


Рис. 2. Схема расположения прослойки в земляном полотне автомобильной дороги (выемка): 1 – покрытие дорожной одежды; 2 – основание дорожной одежды; 3 – парогидроизолирующая прослойка; C – ширина обочины; $B_{п.ч}$ – ширина проезжей части; $B_{з.п}$ – ширина верха земляного полотна; n, m – коэффициент заложения откоса

Необходимая толщина прослойки из нефтезагрязненного грунта рассчитывается исходя из высоты капиллярно-пористого поднятия влаги:

$$H = \frac{K_f \cdot \tau}{\eta \left((3,3 + \Pi) \sin(180 - \alpha) \right)^2} (\nabla p + \rho \nabla h), \quad (1)$$

где K_f – коэффициент фильтрации; τ – время, сут.; η – динамическая вязкость воды, Па·с; Π – пористость материала; α – угол внутреннего трения грунта; ∇p – градиент давления воды, 0,05 кПа; ρ – плотность материала прослойки, кН/м³; ∇h – градиент по высоте, 0,3 м.

Коэффициент проницаемости определяется по формуле, полученной на основе теоретических и экспериментальных исследований, проведенных профессором И.А.Афанасьевым:

$$K_f = \bar{d} \cdot K_{сб} \cdot D(d) \cdot \Pi, \quad (2)$$

где $\bar{d}$ – средний размер частиц; $K_{сб}$ – коэффициент неоднородности гранулометрического состава; $D(d)$ – дисперсия распределения частиц грунта; Π – пористость материала.

Изменение пористости описывается следующим образом:

$$\Pi = 1 - \rho \cdot a, \quad (3)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³, a – постоянная, $a = 4 \cdot 10^{-4}$.

Однако проведенные исследования в области определения коэффициента фильтрации [3–5] показывают, что численные значения коэффициента фильтрации, полученные по формуле И.А.Афанасьева, несколько отличаются от средних значений коэффициента фильтрации, вычисленных по формулам Зельгейма, Козени, Замарина [5]. Поэтому формула (2) может быть представлена в следующем виде:

$$K_f = d_{эф} \cdot K_{сб} \cdot D(d) \cdot \Pi, \quad (4)$$

где $d_{эф}$ – эффективный диаметр частиц грунта, равный диаметру отверстия сита, через которое просеивается 10 % пробы грунта по весу (и на котором остается 90 % по весу) [4].

Данная методика расчета позволяет определять минимально допустимую толщину парогидроизолирующего слоя в зависимости от физико-механических свойств применяемого материала.

Для определения толщины прослойки по данной методике были взяты образцы нефтезагрязненного грунта различного гранулометрического состава Кокуйского месторождения нефти (табл. 1).

Гранулометрический состав скелетной добавки (отсевы дробления известняковых пород) приведен в табл. 2.

Таблица 1

Гранулометрический состав нефтезагрязненного грунта

Показатели	Размеры фракций, мм									Тип грунта
	>5	2–5	2–0,5	0,5– 0,25	0,25– 0,1	0,1– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	<0,005	
Глинистый нефтезагрязненный грунт (состав 1)										
Процент от общей массы пробы	1,3	5,4	4,1	19,9	19,6	9,3	22,1	6,8	11,5	Суглинок легкий пылеватый
Сумма, %	100,0	98,7	93,3	89,2	69,3	49,7	40,4	18,3	11,5	
Песчаный нефтезагрязненный грунт (состав 2)										
Процент от общей массы пробы	2,3	6,6	3,2	35,6	31,2	7,0	5,1	2,2	6,8	Песок мелкий
Сумма, %	100,0	97,7	91,1	87,9	52,3	21,1	14,1	9,0	6,8	

Таблица 2

Гранулометрический состав скелетной добавки

Показатели	Размеры фракций, мм									Тип грунта
	>5	2–5	2–0,5	0,5– 0,25	0,25– 0,1	0,1– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	<0,005	
Скелетная добавка										
Процент от общей массы пробы	6,2	13,2	53,7	14,7	6,6	5,6	-	-	-	Отсевы дробления известня- ковых пород
Сумма, %	100,0	93,8	84,6	30,9	16,2	5,6	-	-	-	

Для оценки высоты капиллярного поднятия влаги в материале парогидроизолирующего слоя (прослойки) были сформированы образцы следующего состава (табл. 3).

Таблица 3

Состав образцов испытаний

Номер состава	Содержание НЗГ	Содержание скелетной добавки	Содержание цемента	Содержание извести
Составы материалов с глинистым НЗГ				
1.1	80	20	10	0
1.2	70	30	10	0
1.3	60	40	10	0
1.4	50	50	10	0
1.5	80	20	0	20
1.6	70	30	0	20

Окончание табл. 3

Номер состава	Содержание НЗГ	Содержание скелетной добавки	Содержание цемента	Содержание извести
1.7	60	40	0	20
1.8	50	50	0	20
Составы материалов с песчаным НЗГ				
2.1	80	20	10	0
2.2	70	30	10	0
2.3	80	20	0	15
2.4	70	30	0	15

Результаты определения физико-механических свойств материалов приведены в табл. 4–7.

Таблица 4

Объемный вес материалов образцов испытаний

Номер состава	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4
ρ , кН/м ³	20,22	20,74	20,91	21,07	19,02	19,62	19,86	19,98	24,86	25,12	22,89	23,23

Таблица 5

**Пористость и угол внутреннего трения
материалов образцов испытаний**

Номер состава	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4
П	0,18	0,15	0,15	0,14	0,22	0,20	0,19	0,19	0,05	0,05	0,07	0,05
α	26	28	30	32	26	28	30	32	39	38	39	38

Таблица 6

Гранулометрический состав материалов образцов испытаний

Показатели	Размеры фракций, мм									Номер состава
	>5	2–5	2–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	<0,005	
Процент от общей массы пробы	2,3	7,0	14,0	18,9	17,0	8,6	17,7	5,4	9,2	1.1, 1.5
Сумма, %	100,0	97,7	90,8	76,7	57,9	40,9	32,3	14,6	9,2	
Процент от общей массы пробы	2,8	7,7	19,0	18,3	15,7	8,2	15,5	4,8	8,1	1.2, 1.6

Окончание табл. 6

Показатели	Размеры фракций, мм									Номер состава
	>5	2–5	2–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	<0,005	
Сумма, %	100,0	97,2	89,5	70,5	52,2	36,5	28,3	12,8	8,1	
Процент от общей массы пробы	3,3	8,5	23,9	17,8	14,4	7,8	13,3	4,1	6,9	1.3, 1.7
Сумма, %	100,0	96,7	88,2	64,3	46,5	32,1	24,2	11,0	6,9	
Процент от общей массы пробы	3,8	9,3	28,9	17,3	13,1	7,5	11,1	3,4	5,8	1.4, 1.8
Сумма, %	100,0	96,3	87,0	58,1	40,8	27,7	20,2	9,2	5,8	
Процент от общей массы пробы	3,1	7,9	13,3	31,4	26,3	6,7	4,1	1,8	5,4	2.1, 2.3
Сумма, %	100,0	96,9	89,0	75,7	44,3	18,0	11,3	7,2	5,4	
Процент от общей массы пробы	3,5	8,6	18,4	29,3	23,8	6,6	3,6	1,5	4,8	2.2, 2.4
Сумма, %	100,0	96,5	88,0	69,6	40,3	16,5	9,9	6,3	4,8	

Таблица 7

Эффективный диаметр, дисперсия распределения частиц грунта

Номер состава	1.1, 1.5	1.2, 1.6	1.3, 1.7	1.4, 1.8	2.1, 2.3	2.2, 2.4
$d_{эф}$, мм	0,006	0,0065	0,007	0,009	0,025	0,040
$D(d)$	1,26	1,4	1,52	1,61	1,41	1,51

Результаты расчета высоты поднятия капиллярно-пористой влаги приведены в табл. 8.

Таблица 8

Высота поднятия капиллярно-пористой влаги

Номер состава	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4
H_{min} , см	5,24	4,78	4,96	5,69	5,89	5,86	5,84	7,12	4,36	7,88	5,56	7,29

Выводы:

1. Толщина прослойки (высота поднятия капиллярно-пористой влаги) напрямую зависит от гранулометрического состава исходного нефтезагрязненного грунта, вида используемого минерального вяжущего материала, количества вводимых скелетных добавок.

2. Наибольшие значения высоты поднятия капиллярно-поровой влаги достигаются при применении песчаного нефтезагрязненного грунта с добавкой 30 % скелетной добавки, независимо от типа применяемого минерального вяжущего, а также при применении глинистого нефтезагрязненного грунта, стабилизированного 50 % скелетной добавки (отсевов дробления) совместно с молотой негашеной известью.

3. Рекомендуется назначать минимальную толщину прослойки, вычисленной по данной методике, с коэффициентом 1,5 от высоты поднятия капиллярно-пористой влаги. Перед этим должен производиться подбор состава материала по требуемым физико-механическим и фильтрационным свойствам.

Список литературы

1. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / под ред. И.А.Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.

2. Сиденко В.М., Батраков О.Т., Покутнев Ю.А. Дорожные одежды с парогидроизолирующими слоями. – М.: Транспорт, 1984. – 144 с.

3. Шейдеггер А.Э. Физика течения жидкостей через пористые среды. – М.: Гос. изд-во нефтяной и горно-топливной лит-ры, 1960. – 250 с.

4. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической лит-ры, 1952. – 677 с.

5. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической лит-ры, 1947. – 244 с.

Получено 28.02.2012