



УДК 625.768

**К.М. Байгутанов**

Алматинский ОФ РГП «Казахавтодор», г. Алматы

**Р.Ж. Досбаева**

ТарГУ им. Дулати

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКИХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ  
ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СНЕЖНОГО НАКАТА С ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Зимнее содержание автомобильных дорог представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение бесперебойного безопасного движения транспортных средств. Эти мероприятия включают в себя защиту дорог и искусственных сооружений от снежных заносов и лавин, борьбу с зимней скользкостью, очистку дорог от снега, борьбу с наледями и другие меры по своевременному устранению препятствий, вызываемых зимними погодными явлениями.

Особенно неблагоприятные условия для движения транспортных средств возникают в зимнее время, когда на дорожном покрытии образуется слой снежно-ледяных накатов, физико-механические свойства которых существенно отличаются друг от друга (табл. 1). По статистическим данным Комитета дорожной полиции МВД Республики Казахстан на обледенелых дорогах отмечается до 35 % несчастных случаев и аварий. На скользкой дороге снижается скорость движения автомобилей и уменьшается производительность на 25-30 %.

Для успешного решения задач по ликвидации зимних видов скользкости необходимо учитывать климатические особенности регионов Казахстана, вид скользкости (табл. 1), процесс воздействия противогололедных материалов, особенно химических реагентов, на снижение скользкости дорожных покрытий с тем, чтобы сделать правильный выбор противогололедных материалов в зависимости от вида образования скользкости, определить нормы их распределения и технологические особенности применения.

Таблица 1

*Физико-механические характеристики снежно-ледяного образования*

№ п/п	Виды снежно-ледяных образований	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Твердость, МПа	Удельное со- противление резанию, МПа	Коэффициент сцепления
1	Очень рыхлый, свежевыпавший	0,02-0,06	0,02	0,001	0,20-0,25
2	Рыхлый снег:				
	– сухой	0,06-0,10	0,02-0,1	0,005-0,01	0,20-0,25
	– влажный	0,10-0,25			0,18-0,22
3	– мокрый	свыше 0,25			0,12-0,18
	Снежно-ледяной накат	0,30-0,60	0,20-0,50	0,1-0,5	0,10-0,25

4	Стекловидный лед	0,70-0,95	свыше 0,50	1,0-2,5	0,08-0,15
---	------------------	-----------	------------	---------	-----------

Процесс растворения химических веществ сопровождается тепловыми явлениями. Тепловой эффект при растворении разных веществ существенно различается, например, при растворении поваренной соли  $\text{NaCl}$  происходит эндотермическая (отрицательная) реакция, т.е. протекающая с поглощением тепла. Этим объясняется то, что первоначальное действие хлористого натрия на лед проявляется несколько медленнее по сравнению с хлористым кальцием или хлористым магнием, при растворении которых происходит экзотермическая (положительная) реакция с выделением большего количества тепла (табл. 2).

Таблица 2

*Теплота растворения различных противогололедных реагентов*

Противогололедные реагенты	Химическая формула	Характер теплового эффекта	Теплота растворения (при стандартных условиях), кал/г
Хлористый натрий	$\text{NaCl}$	Отрицательный	20,5
Хлористый кальций	$\text{CaCl}_2$	Положительный	162,2
Двухводный хлористый кальций	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Положительный	67,6
Шестиводный хлористый кальций	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Отрицательный	20,9
Хлористый магний	$\text{MgCl}_2$	Положительный	378,1
Шестиводный хлористый магний (бишофит)	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Отрицательный	16,7

Тепло противодействует охлаждению исходных материалов и усиливает интенсивность плавления льда.

Технология применения химических реагентов при борьбе со скользкостью имеет следующие особенности:

1. Эффективность химического способа в значительной степени зависит от технологии его применения. При соблюдении правильной технологии работ и своевременных сроков распределения химических веществ можно быстро ликвидировать зимнюю скользкость.

2. Технологический способ применения химических реагентов выбирают на основании учета конкретных условий, при которых произошло образование зимней скользкости в каждом отдельном случае, и вида снежно-ледяных отложений. В случае, если в результате замерзания жидкой влаги на покрытии дороги появляется лед в виде тонкой ледяной пленки, тогда для южного и юго-западного регионов Казахстана наиболее эффективным является применение реагентов в виде жидких растворов, расплавляющих всю массу льда. Для северного, восточного и северо-западного регионов Казахстана эффективно использовать мелкозернистые соли или чешуйковый хлористый кальций. Крупнозернистая соль для этих целей малопригодна, так как крупные зерна медленно растворяются и легко отбрасываются в сторону колесами движущихся автомобилей или же сдуваются ветром.

3. При удалении снежно-ледяного наката технологический процесс складывается из следующих операций: 1) распределение химических веществ по поверхности наката; 2) выдержка, во время которой происходит перемешивание реагентов с разрыхляемыми

ими снежно-ледяными отложениями колесами движущихся автомобилей; 3) уборка плюжно-щеточными снегоочистителями увлажненной кашицеобразной (жженной) массы снега, образующейся на проезжей части дороги.

Укатанный слой свежевыпавшего снега не плавится полностью, а лишь разрыхляется до состояния, при котором становится возможной механическая очистка покрытия. Соляной раствор, проникая по порам вглубь снежно-ледяного слоя при смачивании поверхности кристаллов, частично их плавит, вследствие этого нарушаются межкристаллические связи, что, в свою очередь, приводит к образованию отложений с нарушенной структурой.

4. Полностью убрать образовавшийся на проезжей части дороги снежно-ледяной накат современной снегоуборочной техникой практически невозможно. Поэтому внесенный на поверхность таких отложений химический реагент ослабляет силы их внутреннего сцепления и тем самым снижает силы смерзания, т.е. снижает удельное сопротивление резанию.

5. При профилактическом методе количество вносимых в снег реагентов должно быть в 100-1000 раз меньше количества снега, выпавшего на проезжую часть дороги. Для этих целей достаточно распределить кристаллические вещества при норме  $40-65 \text{ г/м}^2$  и толщине снежного слоя до 40 мм, в зависимости от влажности снега.

6. Использование хлоридов при уборке свежевыпавшего снега является профилактической мерой борьбы со скользкостью. Достичь высококачественной очистки снега таким путем можно при соблюдении соответствующей технологии. Основные технологические этапы этих работ следующие: выдержка от начала снегопада до достижения высоты слоя свежевыпавшего снега около 5 мм; распределение противогололедных материалов; выдержка с целью перемешивания реагентов со снегом колесами автомобилей; удаление снега, разрыхленного реагентами.

7. Выдержка, являющаяся первоначальным этапом данного технологического процесса, предусматривает необходимость создания тонкого слоя снега с целью лучшего закрепления в нем реагентов и более быстрого их растворения, а также для предотвращения образования свободных растворов. Установлено, что минимальная высота слоя свежевыпавшего снега должна составлять около 5 мм. При снегопадах интенсивностью 0,5 мм/ч (в пересчете на воду) слой снега такой высоты наиболее часто образуется в течение 30-45 мин, при большей интенсивности он растет быстрее. В связи с этим продолжительность выдержки, зависящая от интенсивности снегопада и быстроты увеличения слоя снега, колеблется от 15 до 45 мин.

8. Если интенсивность снегопада не превышает 1 мм/ч, то после россыпи хлоридов очистку следует начинать по истечении 2-4 ч, а во время более сильных снегопадов снег расчищают вскоре после его химической обработки. Этот порядок работ сохраняется, пока не прекратится снегопад.

9. Обработанный реагентами снег оставлять на ночь строго запрещается. С понижением температуры воздуха смоченный растворами снег может замерзнуть, и тогда работы по его удалению очень осложнятся.

10. Нормы внесения реагентов в снег зависят от температуры окружающей среды и интенсивности снегопада. С учетом этих данных технологический процесс снегоочистки разделен на три режима:

I режим – интенсивность снегопада 0,5-1 мм/ч (в пересчете на воду);

II режим – интенсивность снегопада 1-3 мм/ч;

III режим – интенсивность снегопада свыше 3-х мм/ч.

Технологические требования к применению химических реагентов при борьбе со скользкостью в IV-V дорожно-климатических зонах:

- строгий контроль времени подсыпки реагента и продолжительности снегопада;
- до распределения химических реагентов экстренно определить вид скользкости и состояние снежно-ледяного образования;
- осуществление полной механизированной очистки, или, в случае продолжительности снегопада - повторной подсыпки: через 3-5 часов в II-III и через 2-4 часа в IV-V дорожно-климатических зонах;
- при отсутствии или недостаточной механизации профилактический метод не применяется;
- ручная подсыпка на проезжей части автомобильных дорог и городских улиц не допускается;
- аварийный метод применяется в особых случаях, когда технологическая возможность механизированной очистки ограничена (отсутствие прохода и т.д.) или при её отсутствии при этом протяженность обрабатываемого участка не должна превышать 1 км;
- состав ПСС и композиции комбинированных материалов подготавливаются строго по рецепту;
- при приготовлении жидких химических реагентов строго соблюдать концентрацию растворов в соответствии с видом реагента и нормой его распределения.

Одним из методов применения химических реагентов является распределение их в жидким виде. Перед приготовлением жидких химических растворов (рассолов) из хлористых солей выполняются следующие виды работ:

- проверка сертификационного качества применяемых реагентов. Эта операция выполняется документально;
- проведение в лабораторных условиях ситового анализа реагента с оценкой крупности материала;
- предварительное измельчение крупных частиц (диаметром более 0,315 мм). Эта операция на предприятиях должна осуществляться с помощью дробилок, предназначенных для измельчения каменных материалов;
- предварительное взвешивание подготовленного сухого реагента на весах с точностью до 5 %.

В Алматинском филиале РГП «Казахавтодор» под руководством д.т.н. А.К. Киялбаева сконструирована стационарная установка для приготовления жидких химических растворов (рассолов) (рис. 1).

Конструкция этой установки очень проста. Бак 1 и компрессор 3 устанавливаются на специальной эстакаде 11 на высоте 2,7-3 м. Бак подсоединен к компрессору 3 через трубопровод 2, на конце которого имеется перемешивающее устройство 7. Насос 3 выполняет две функции: осуществляет подачу сжатого воздуха для перемешивания раствора и подкачку жидкости для наполнения бака. Эти процессы регулируются при помощи кранов 9. Процесс работы наблюдается со смотровой площадки 6, подъем на которую осуществляется по лестнице 5. Заполнение бака распределителя осуществляется через сливную трубу 8.

При выборе химических реагентов необходимо учитывать относительную влажность

воздуха, так как она в значительной степени влияет на скорость растворения химических реагентов. При одинаковой температуре воздуха в различных географических точках Казахстана относительная влажность может колебаться в различных пределах, например, при температуре воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность в восточной части Казахстана колеблется в пределах 62-67 %, в северной части – 56-60 %, в южной части – 82-89 % и юго-западной части – 80-85 %.

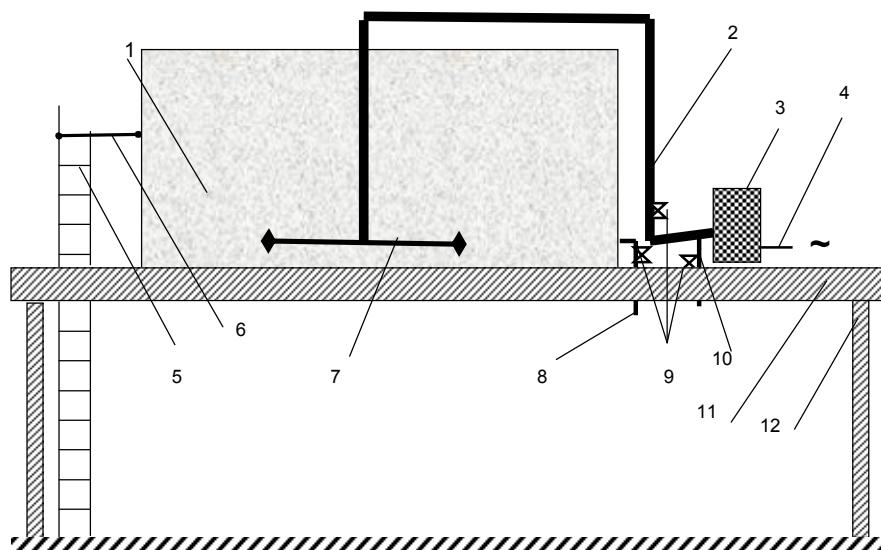


Рисунок 1 – Схема стационарной установки для приготовления противогололедного раствора: 1 – бак; 2 – трубопровод для транспортировки сжатого воздуха к перемешивающему устройству; 3 – компрессор (насос); 4 – подключение к электросети; 5 – лестница; 6 – смотровая площадка; 7 – перемешивающее устройство; 8 – сливная труба; 9 – краны; 10 – труба для наполнения бака жидкостью; 11 – эстакада; 12 – стойки эстакады

При сравнительно низких температурах воздуха (до  $-18^{\circ}\text{C}$ ) внесение реагентов при минимальной плотности распределения (до  $35 \text{ г/м}^2$ ) не оказывает влияния на изменение свойств снега, т.е. на коэффициенты внутреннего трения ( $\text{tg}\varphi$ ) и сцепления ( $C$ ).

Результаты визуальной и приборной оценки позволяют дорожно-эксплуатационным и коммунальным службам принять конкретные решения по вопросам ликвидации зимних видов скользкости.

Рекомендуемые мероприятия для ликвидации скользкости приведены в таблице 6.

Все мероприятия по борьбе с зимней скользкостью по целевой направленности согласно ПР РК 218-31-03 делятся на три группы: предотвращение возникновения зимней скользкости; снижение отрицательного воздействия образовавшихся с.л.о.; разрушение и удаление слоев с.л.о.

К первой группе мероприятий относятся такие виды работ: профилактический метод распределения х.р. и патрульная снегоочистка.

При распределении х.р. профилактическим методом после прекращения снегопада

(если его продолжительность не превышает 2-4 часа) производится патрульная снегоочистка. Если снег не прекращается, то с интервалом 2-4 часа производится патрульная снегоочистка и повторная посыпка х.р.

Таблица 3

*Нормы распределения жидких хлористых растворов при ликвидации зимних видов скользкости*

Температура воздуха, °C	Нормы распределения жидких х.р. профилактическим методом при толщине рыхлого снега $h_c \leq 5$ см, $\text{г/м}^2$						Нормы распределения х.р. аварийным методом при толщине с.л.н. до 3-4 мм, $C=25\%$									
	$C=15\%$			$C=25\%$			$p \leq 0,20 \text{ т/м}^3$ , $h_c \leq 5$ см			$p=0,21-0,55 \text{ т/м}^3$ , $h_c \leq 4$ см			$p>0,55 \text{ т/м}^3$ , $h_c \leq 3$ см			
	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	
до -2	200	200	110	110	280	230	290	420	390	420	550	500	550	500	550	550
от -2 до -4	320	300	310	280	255	270	390	350	430	580	520	560	710	630	690	690
от -4 до -8	400	340	390	345	320	350	550	520	580	700	630	690	850	790	840	840
от -8 до -12	-	-	-	450	410	450	650	600	660	900	810	880	1200	1050	1150	-
ниже -12	-	-	-	600	520	580	850	760	810	-	1100	1230	-	-	-	-

Примечание: «» показывает, что в данном интервале температур воздуха распределение химреагентов не рекомендуется.

Таблица 4

*Нормы распределения твердых хлористых солей при ликвидации зимних видов скользкости*

Температура воздуха, °C	Нормы распределения х.р. профилактическим методом при толщине слоя рыхлого снега $h_c \leq 5$ см, $\text{г/м}^2$						Нормы распределения х.р. аварийным методом при толщине слоя с.л.н. $h_c \leq 10$ мм, $\text{г/м}^2$									
	$W_o \leq 62\%$			$W_o > 62\%$			$p \leq 0,20 \text{ т/м}^3$			$p=0,21-0,55 \text{ т/м}^3$			$p>0,55 \text{ т/м}^3$			
	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	
до -2	25	25	25	25	25	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
от -2 до -4	40	35	40	35	32	35	120	110	120	160	140	160	240	230	240	240
от -4 до -8	60	55	63	50	48	52	140	135	145	220	200	255	325	300	320	320
от -8 до -12	82	75	90	68	59	72	180	165	190	275	245	295	390	365	410	410
ниже -12	-	-	-	75	65	80	210	190	220	320	300	340	460	430	520	520

Примечание: «» показывает, что в данном интервале температур воздуха распределение химреагентов не рекомендуется.

Таблица 6

*Мероприятия для ликвидации зимних видов скользкости*

Технологические процессы	Рыхлый снег			Снежно-ледяной накат	Стекло-видный лед
	сухой	влажный	мокрый		
Патрульная очистка без обработки х.р.	+	+	+		
Профилактический метод распределения х.р.	+	+			
Распределение жидких реагентов	+	+			+
Полная очистка и вывоз снега от п.ч.	+	+			
Аварийный метод распределения х.р.				+	+
Распределение фрикционных материалов				+	+
Механизированный способ ликвидации скользкости (кирковка)				+	

Патрульная снегоочистка без обработки х.р. осуществляется во время снегопада с интенсивностью, не превышающей 0,5 см/ч. При опоздании своевременной снегоочистки снег под воздействием движущегося транспорта превращается в с.л.н., борьба с которым требует большего труда и затрат. Рабочая скорость снегоочистителей при патрульной снегоочистке не должна быть менее 35-40 км/ч.

Ко второй группе мероприятий относятся распределение ф.м. с целью повышения сцепных качеств оледенелых дорожных покрытий.

К третьей группе мероприятий относятся аварийный метод распределения х.р. для полного расплавления и разрушения с.л.н. и механизированный способ ликвидации с.л.о. после распределения х.р. аварийным методом.

## Список литературы

1. Р РК 218-32-43. Методические рекомендации по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах Казахстана с применением химических реагентов и мероприятия по защите окружающей среды. - Алматы-Астана, 2004. - 151 с.
2. ВСН 20-87. Инструкция по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. - М.: Транспорт, 1988. - 41 с.
3. Киялбаев А.К., Телтаев Б.Б. Зимние виды скользкости и химические методы борьбы с ними: Учеб. пособие. - Алматы: КазАТК, 2004. - 112 с.
4. Лед и снег /Под ред. У.Д. Кингери. - М.: Мир, 1996. - 480 с.

Получено 11.02.2008

УДК 625.7.084

**М.В. Дудкин**

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЛАСТИЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА,  
УПЛОТНЯЕМОГО АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ И КАТКОМ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ВАЛЬЦА  
(Часть 1)**

Асфальт, или асфальтобетон – это строительный материал, полученный в результате

уплотнения специально рассчитанной и тщательно приготовленной при соответствующей температуре смеси щебня, дробленого песка, минерального порошка и битума.

Асфальтобетон, являясь главным компонентом дороги, демонстрирует высокую устойчивость к истиранию и деформациям, водонепроницаемость и пластичность. Он же сообщает относительную бесшумность движению транспорта и надёжное сцепление последнего с дорогой.

Плотность асфальтобетона является одним из важнейших показателей его структуры. От нее в большей степени зависят физико-механические свойства асфальтобетона, а также долговечность покрытия. При прочих равных условиях плотность корреспондируется с прочностью асфальтобетона.

Плотность достигается уплотнением. Уплотнение асфальтобетонной смеси - основная технологическая операция, которая предопределяет физико-механические свойства покрытия и является завершающей стадией активного структурообразования асфальтобетона, от эффективности которой зависят его эксплуатационные свойства.

В процессе уплотнения при последовательных проходах катка смесь деформируется за счет уменьшения пористости, т.е. уменьшения объема уплотняемого слоя. При этом происходит формирование структуры асфальтобетонного покрытия. Недостаточное уплотнение асфальтобетонного покрытия - одна из основных причин его разрушения [1].

В процессе уплотнения необходимо обеспечить такую степень плотности, при которой полностью исключается доуплотнение покрытия под воздействием автомобильного транспорта. Важнейшее значение для долговечности покрытия дороги имеет качество асфальтобетонной смеси.

Асфальт должен обладать комплексом структурно-механических свойств, обеспечивающих: эластичность и пластичность при низкой температуре; достаточную прочность и теплостойкость при высокой температуре; стойкость против старения при технологической переработке и эксплуатации, прочное сцепление с поверхностью минеральных материалов; достаточный температурный диапазон работ, обеспечивающий одновременно трещиностойкость и сдвигостойчивость в заданных условиях эксплуатации.

Коэффициент уплотнения асфальтобетонных смесей (отношение плотности смеси в покрытии к плотности смеси при стандартном лабораторном уплотнении образцов) должен быть не ниже 0,98 в нижних слоях и не ниже 0,99 в верхнем слое покрытия. Поэтому для правильного применения необходимо знать физико-механические и химические свойства строительных материалов, важно знать, какую роль играют эти материалы в структуре асфальтобетона, и вытекающие отсюда требования к ним.

Качество строительства асфальтобетонного покрытия зависит от температурных и технологических режимов укладки и уплотнения смеси, к которым относятся: температуры начала и окончания процессов, рабочие скорости передвижения машин, число проходов катков по одному следу и соответствие параметров машин свойствам материала. Обеспечить заданное число проходов с установленными скоростями необходимо за время, в течение которого асфальтобетонная смесь находится в заданном температурном интервале. Поэтому параметры машин, входящие в комплект оборудования для строительства покрытий из горячих смесей, должны быть взаимоувязаны между собой как по продолжительности выполнения операций, так и температурным режимам.

Ведущей машиной, определяющей производительность строительства, является асфальтоукладчик который не только укладывает слой смеси с заданными параметрами, но

и производит предварительное его уплотнение.

Асфальтоукладчики (рис. 1) – самые сложные линейные дорожно-строительные машины. Они предназначены для укладки слоев асфальтобетонного покрытия, включающей распределение и предварительное уплотнение асфальтобетонной смеси по нижележащему слою дорожной одежды. При этом асфальтоукладчики принимают асфальтобетонную смесь из транспортных средств или перегружателей-накопителей в приёмный бункер, с помощью питателей передают смесь в шнековую камеру, с помощью шнеков распределяют смесь по всей ширине укладки и с помощью блока выглаживающих плит (включающего сами плиты, вибраторы и трамбующие брусья) обеспечивают предварительное уплотнение смеси.

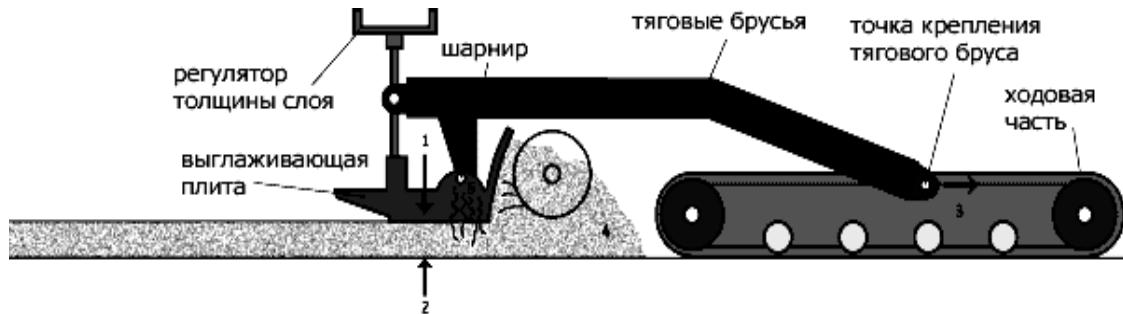


Рисунок 1 – Схема работы и устройство асфальтоукладчика

При движении по подстилающей поверхности ходовая часть укладчика буксирует выглаживающую плиту за тяговые брусья (рис. 1) [2], поэтому для асфальтоукладчика крайне важно изначально правильно установить начальную толщину укладываемого слоя  $h_0$ , ибо после окончательного уплотнения катками можно получить слой покрытия меньше проектного.

Для того чтобы не возникли проблемы при сдаче объекта заказчику, а превышение проектной толщины укладываемого слоя не привело к неоплачиваемому перерасходу асфальтобетона, необходимо предварительно знать не только тип смеси и конечную (проектную) толщину слоя  $h_k$ , но и степень уплотнения этой смеси укладчиком с конкретной технологической настройкой рабочего органа.

Коэффициент запаса на уплотнение слоя асфальтобетона (табл. 1) после укладчика ( $K_{3y}$ ) определяется по формуле:

$$K_{3y} = h_0 / h_k = (1 - \mu_0) / ((K_{yo} / K_{yk}) - \mu_0), \quad (1)$$

где  $h_0, K_{yo}$  - толщина слоя и плотность начальные ( $h_0 = h_k K_{3y}$ );

$h_k, K_{yk}$  - толщина слоя и плотность конечные;

$\mu_0$  - коэффициент поперечной деформации (для песчаной смеси  $\mu_0 = 0,3 \div 0,35$ ; для ма-лощебенистой смеси  $\mu_0 = 0,25 \div 0,30$ ; для многощебенистой смеси  $\mu_0 = 0,02 \div 0,25$ ).

Таблица 1

Коэффициент запаса на уплотнение слоя асфальтобетона после укладчика ( $K_{3y}$ )

	$K_{yo}$				
	0,72	0,80	0,85	0,9-0,92	0,95-0,97

К <sub>3y</sub> при К <sub>ук</sub> =1,0	Смесь песчаная	1,71	1,42	1,29	1,15	1,06
	малощебенистая	1,63	1,38	1,26	1,14	1,06
	многощебенистая	1,57	1,35	1,24	1,13	1,05

В отличие от цементного бетона, свойства асфальтового бетона в значительной мере изменяются от температуры, поэтому для проверки и уточнения основных теоретических положений и выбора рациональных параметров и режимов работы дорожных катков с изменяемой геометрией вальца [3; 4] проанализируем свойства и составим методику расчета коэффициентов пластичности битуминозной асфальтобетонной смеси.

Пластичность – способность материала под влиянием действующих на него нагрузок изменять размеры и форму в значительных пределах без образования трещин и нарушения прочности и сохранять принятую форму после их снятия. Пластичность асфальтобетонной смеси в значительной мере зависит от вязкости битуминозной смеси, входящей в её состав.

Вязкость – внутреннее трение, свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Различают динамическую вязкость, измеряемую в Пуазах ( $1 \text{ пз} = \text{г}/(\text{см} \cdot \text{с}) = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2 = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ) и кинематическую вязкость, измеряемую в Стоксах ( $1 \text{ Ст} = \text{см}^2/\text{с} = 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ ). Динамической вязкостью называется внутреннее сопротивление отдельных частиц жидкости движению общего потока. Кинематическая вязкость равна отношению динамической вязкости к плотности среды. Один стокс равен кинематической вязкости, при которой динамическая вязкость среды плотностью  $1 \text{ г}/\text{см}^3$  равна 1 пз.

В дальнейшем приняты следующие обозначения отдельных характеристик битуминозной смеси:

$\tau_{cb}$  – сложное начальное сопротивление,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;

$\eta_m$  – вязкость битуминозной смеси, пз;

$\tau_r$  – относительное битуминозное сопротивление;

$\eta_r$  – относительная вязкость битуминозной смеси;

$C_V$  – объемная концентрация крупнозернистой ( $>2 \text{ мм}$ ) фракции;

$\tau_b$  – битуминозное начальное сопротивление,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;

$\eta_{\text{раст}}$  – вязкость битуминозного раствора в пз;

$V$  – объемный фактор;

$FB$  – фактор минерального порошка + битум;

$D$  – эквивалентная величина зерна минерального порошка,  $\mu$ ;

$\tau_e$  – битуминозное начальное сопротивление раствора со стандартным составом, у которого  $V = 0,9$ ;  $FB = 0,5$  и  $D = 20 \mu$ ;

$\eta_e$  – вязкость раствора со стандартным составом ( $V = 0,9$ ;  $FB = 0,5$ ;  $D = 20 \mu$ ).

Ниже приводим некоторые зависимости между вышеперечисленными величинами [4], а именно:

$$\tau_{cb} = \tau_r \cdot \tau_e, \quad (2)$$

$$\eta_m = \eta_r \cdot \eta_{\text{раст}}. \quad (3)$$

Зависимости относительного битуминозного сопротивления  $\tau_r$  и относительной вязкости  $\eta_r$  от объемной концентрации  $C_V$  представлены на рисунках 2 и 3.

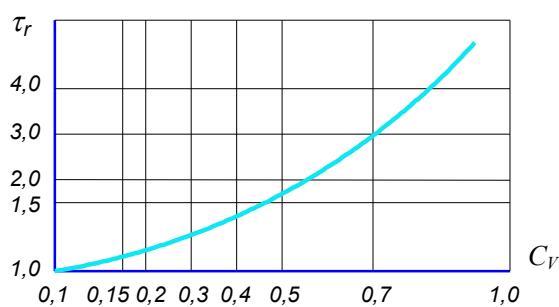


Рисунок 2 – Зависимость относительного битуминозного сопротивления  $\tau_r$  от объемной концентрации  $C_V$

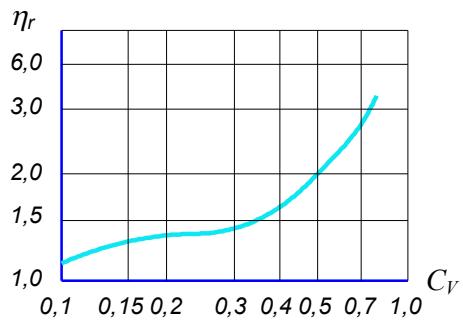


Рисунок 3 – Зависимость относительной вязкости  $\eta_r$  от объемной концентрации  $C_V$

Объемная концентрация крупнозернистой фракции определяется выражением

$$C_V = \frac{\frac{\text{вес, \%}}{\text{удельный вес}} (\text{крупнозернистой фракции})}{100} \cdot \frac{\text{объемный вес}}{\text{объемный вес}}. \quad (4)$$

Для битуминозного раствора справедливо равенство  $\tau_e = \tau_e$ .

Битуминозное начальное сопротивление раствора со стандартным составом выражается зависимостью

$$\tau_e = \frac{V}{0,9} \cdot \left( \frac{FB}{0,5} \right)^{1,2} \cdot \left( \frac{D}{20} \right)^{-0,36} \cdot \tau_s \quad (5)$$

Для объемного фактора  $V$  можно использовать графическую зависимость пустот в смеси в %, показанную на рисунке 4.

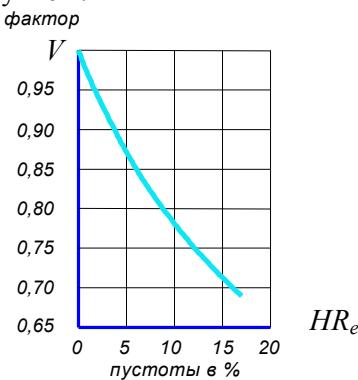


Рисунок 4 – Зависимость объемного фактора от пустот в смеси

Фактор минерального порошка и битума выражается зависимостью:

$$FB = \left( \frac{\text{объем минерального порошка}}{\text{объем минерального порошка} + \text{объем битума}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (6)$$

Вязкость раствора выражается зависимостью:

$$\eta_{pacm} = \frac{V}{0,9} \left( \frac{FB}{0,5} \right) \cdot \left( \frac{D}{20} \right)^{-0,36} \eta_s. \quad (7)$$

Для определения значений  $\tau_s$  и  $\eta_s \left( \frac{1}{\eta_s} \right)$  в зависимости от температуры смеси можно использовать графики на рисунках 5 и 6, построенные для битуминозной смеси В-80. Величину  $\left( \frac{D}{20} \right)^{-0,36}$ , входящую в формулы (5) и (7) можно принять в большинстве случаев равной единице  $\left( \frac{D}{20} \right)^{-0,36} \approx 1$ .

Следует учесть, что строительство покрытий из горячих асфальтобетонных смесей ведется отрядом машин, состоящим из асфальтоукладчика и уплотняющих машин, параметры которых зависят от заданной производительности строительства, условий производства работ и применяемого материала.

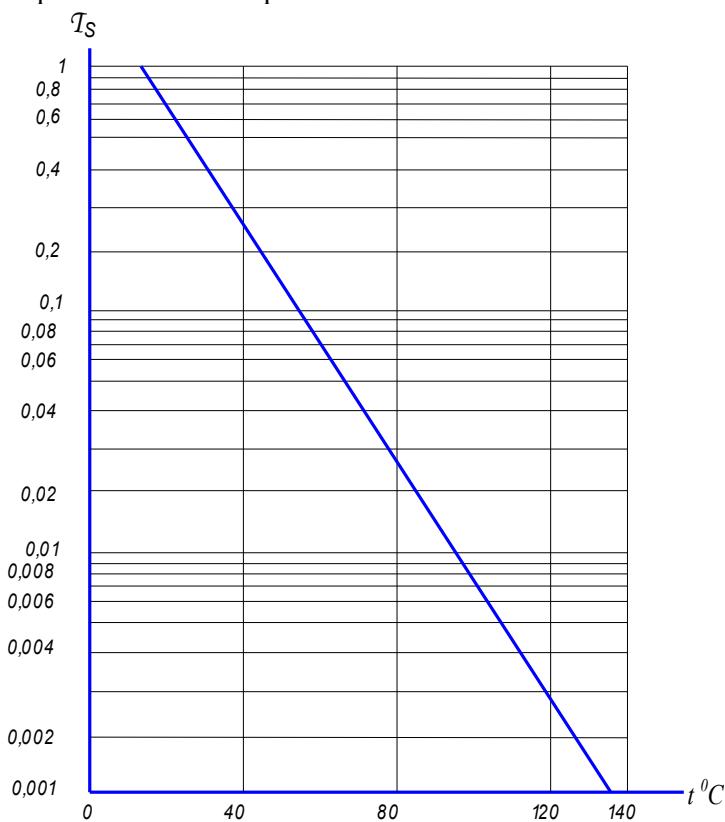


Рисунок 5 – Графическая зависимость к определению  $\tau_s$  от температуры смеси

С учетом непрерывности строительства эффективность работы машин зависит от результатов совместной работы, при которой каждая машина (асфальтоукладчик, каток) выполняет свои функции в конкретных температурных интервалах и создает фронт работы для других машин.

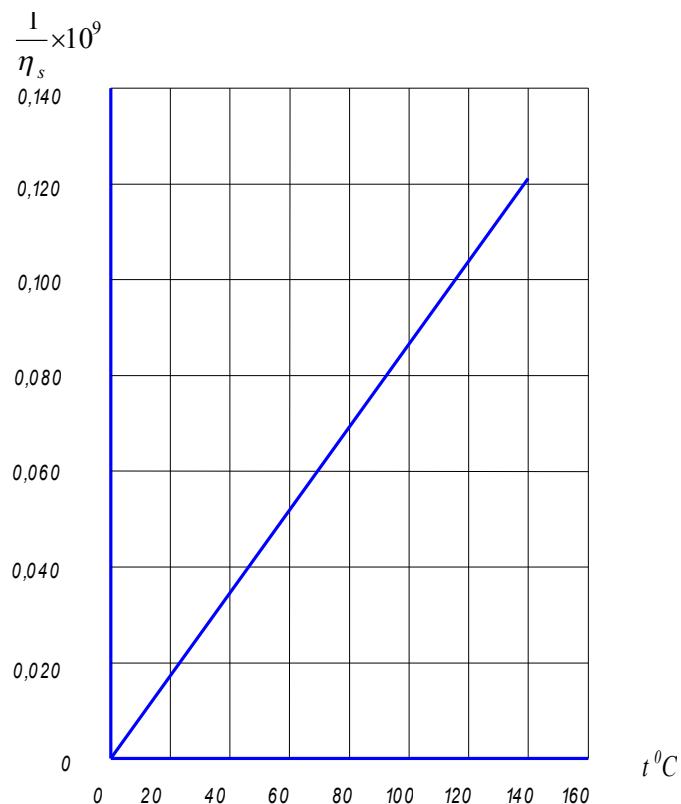


Рисунок 6 – Графическая зависимость к определению  $\eta_s$  от температуры смеси

Таблица 2

*Исправленные средние температуры смеси*

°C		Начальная температура								
		160	150	140	130	120	110	100	90	80
Конечная температура	160	160								
	150	156	150							
	140	152	146	140						
	130	148	142	136	130					
	120	144	138	132	126	120				
	110	140	134	128	122	116	110			
	100	137	130	124	118	112	106	100		
	90	135	127	120	114	108	102	96	90	
	80	132	125	117	110	104	96	92	86	80
	70	130	122	115	107	100	94	88	82	76
	60	128	120	112	105	97	90	84	78	72
	50	127	118	110	102	96	87	77	74	68

Если при расчете времени уплотнения разница между начальной и конечной темпера-

турами больше 20 °C, то расчеты следует проводить по исправленной средней температуре, которую можно определить по таблице 2.

Например, начальная температура смеси равна 150 °C, а конечная 100 °C, тогда исправленная средняя 130 °C.

Экспериментальными опытно-производственными работами по определению уплотненности асфальтобетонных смесей различного гранулометрического состава катками с гибкой обечайкой вальца в соответствии с ГОСТ 9128-97 [5] установлено, что для мелко-зернистых каркасных смесей при одинаковых режимах уплотнения при повышении температуры от 100 до 130 °C коэффициент уплотнения меняется от 0,95 до 0,99.

Для приготовления смеси любого типа могут быть использованы разные марки битума, свойства которых зависят от температуры, а следовательно, имеют разные температуры окончания работ.

Анализ значений температуры окончания эффективного уплотнения асфальтобетонных смесей показывает, что для смесей с битумами марок БНД 90/130, 60/90 и 40/60 необходимо увеличить температуру окончания эффективного уплотнения.

Таким образом, приведенные зависимости и графики позволяют осуществлять рациональный выбор технологических параметров машин для строительства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей с различной пластичностью.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что вязкость битуминозной смеси и её температурная неоднородность оказывают значительное влияние на формирование пластичности и, в конечном итоге, прочности асфальтобетона, и их необходимо учитывать при проектировании технологии строительства асфальтобетонных покрытий.

#### Список литературы

1. Калужский Я.А. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд // Я.А. Калужский, О.Т. Батраков - М.: Транспорт, 1971. - 160 с.
2. Костельев М.П. Практические проблемы устройства асфальтобетонных покрытий с высокой ровностью. - <http://www.STROIT.RU/> - 9 с.
3. Дудкин М.В. Моделирование движения гибкого вальца дорожного катка по уплотняемой поверхности и его проверка экспериментальным путем / М.В. Дудкин, М.А. Сакимов, Б.О. Бостанов, Е.С. Темирбеков // Научно-технический журнал Красноярского гос. техн. ун-та. - 2006. - № 4. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. - С. 59-69.
4. Обоснование и исследование конструкции ведущего вальца самоходного катка с переменной кривизной в зоне уплотнения: Отчет о НИР/ МАДИ: Руководитель темы Г.С. Маслов. - Тема К 250187. - М., 1988. - 89 с.
5. ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. - Введ. 01.01.99. - М.: Изд-во стандартов. - 19 с.

Получено 11.01.2008.

---

УДК 625.711.2

Қасымов А.Е.  
ВКГТУ им. Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

#### ОЦЕНКА ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ГЕОТЕКСТИЛЬ В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Разработанная на основе физико-технической теории В.И. Рувинского методика расче-

та сезонного изменения водно-теплового режима (ВТР) земляного полотна в условиях избыточного увлажнения и глубокого сезонного промерзания грунта позволяет рассматривать процесс влагонакопления в грунте как двухмерный. Применительно к поставленной задаче ВТР земляного полотна зависит от нескольких факторов: расстояния рассматриваемого грунтового массива от источников увлажнения и степени их влияния, условий отвода атмосферных осадков с поверхности дороги, влагопроводных характеристик грунта, характера теплообменного процесса с атмосферой на границе рассматриваемого массива грунта обочины и телом земляного полотна. Причем влияние источников увлажнения неоднозначно [1].

Внешние источники влагонакопления 1, 2, 3 формируют температурно-влажностный режим в грунтовом массиве обочины А, который в виде внутреннего источника 4 взаимодействует с грунтовым массивом тела земляного полотна под проезжей частью Б (рис. 1).

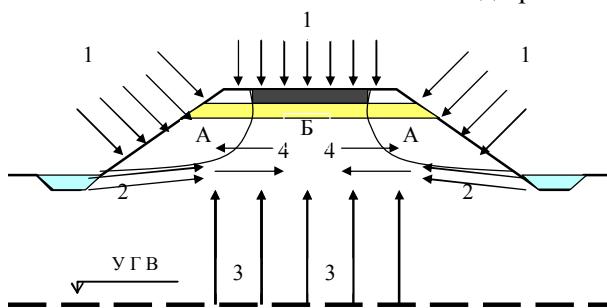


Рисунок 1 – Источники увлажнения земляного полотна: 1 – инфильтрационно-пленочное увлажнение атмосферными осадками; 2 – капиллярно-пленочное увлажнение от поверхностных вод и верховодки; 3 – капиллярно-пленочное и диффузное увлажнение от грунтовых вод и верховодки; 4 – капиллярно-пленочное и диффузное увлажнение за счет разности потенциалов влажности и температуры в грунте под проезжей частью и обочинами; А – грунтовый массив земляного полотна под обочинами; Б – грунтовый массив тела земляного полотна под проезжей частью

Для того чтобы оценить ВТР земляного полотна, необходимо последовательно проанализировать влияние источников 1, 2, 3 на процесс влагонакопления в грунтовом массиве А, а затем рассмотреть процесс тепломассообмена в грунте под обочинами А и проезжей частью Б.

Если влияние источников 1, 2, 3 достаточно изучено и можно использовать существующие методы расчета влагонакопления в теле грунтового массива А под воздействием источников увлажнения 1, 2, 3, то характер тепломассообмена между грунтовыми массивами А, Б недостаточно изучен. А именно от характера этого процесса в конечном итоге зависит ВТР дорожной конструкции.

Это влияние будет зависеть от характера потенциалов тепломассопереноса. Иными словами, представим, что потенциал тепломассопереноса в массиве А выше, чем в массиве Б, следовательно, влага из массива обочины будет перемещаться в массив тела земляного полотна, обусловливая избыточное влагонакопление и пучение грунта под дорожной одеждой, что крайне нежелательно.

Факторами, обуславливающими разность потенциалов в массивах А и Б, чаще других является перепад температур. Промерзание дорожной конструкции идет быстрее под проезжей частью, следовательно, за счет разности потенциалов осуществляется перемещение влаги из-под обочины в тело земляного полотна. При этом механизм этого процесса слабо

гается из диффузного (начало промерзания) и пленочного перемещения влаги к границе льдообразования.

В весенний период наблюдается обратная картина: оттаивание быстрей происходит под проезжей частью, чем под обочинами, при этом выводящие дренажные слои, находящиеся в мерзлом состоянии, не работают, что свидетельствует о существенном конструктивном недостатке традиционной дорожной одежды.

Основной принцип регулирования ВТР в рассматриваемых условиях можно сформулировать следующим образом: конструкция дорожной одежды и земляного полотна должна обеспечивать внутреннее осушение массива грунта Б при его промерзании.

Чтобы достичь поставленной задачи, достаточно уравнять тепловое сопротивление дорожной конструкции под проезжей частью и под обочинами. Для этого необходимо обеспечить условие

$$R_{\text{до}} \geq R_{\text{об}},$$

где  $R_{\text{до}}$  – суммарное тепловое сопротивление дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна под проезжей частью;  $R_{\text{об}}$  – суммарное тепловое сопротивление рабочего слоя земляного полотна под обочинами.

Для практических расчетов эффективности того или иного мероприятия применяется численное решение уравнения теплопроводности, полученное и реализованное [1] в алгоритме и программном комплексе В.В. Пасека для решения задачи Стефана:

$$C_m(x, y) \frac{\partial t_m}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_m(x, y) \frac{\partial t_m}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda_m(x, y) \frac{\partial t_m}{\partial y}) \quad (\text{мерзлая зона}); \quad (1)$$

$$C_T(x, y) \frac{\partial t_T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_T(x, y) \frac{\partial t_T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda_T(x, y) \frac{\partial t_T}{\partial y}) \quad (\text{талая зона}); \quad (2)$$

$$\lambda_m \frac{\partial t_m}{\partial n} + \lambda_T \frac{\partial t_T}{\partial n} = Q_\phi \frac{\partial n_\phi(\tau)}{\partial \tau} \quad (\text{на границе промерзания}), \quad (3)$$

где  $t_m, t_T$  - температуры грунта в мерзлой зоне и в талой зоне,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $x, y$  – координаты точки, для которой формулируется условие;  $\tau$  - продолжительность периода промерзания, ч;  $\lambda_m, \lambda_T$  - коэффициент теплопроводности соответственно мерзлого и талого грунта, Вт (м·град·ч);  $C_m, C_T$  - удельная теплоемкость грунта, кДж/(кг·град);  $n_\phi(\tau)$  – функция изменения во времени положения границы промерзания;  $Q_\phi$  – скрытая теплота при фазовом переходе воды в мерзлое состояние, кДж/кг.

Важной составляющей сложного процесса, формирующего тепломассоперенос, является теплообмен на поверхности и контактных слоях дорожной одежды. При ее конструировании важно правильно оценить конечные результаты процесса: ускорять промерзание для районов с суровым климатом или замедлять его для районов с мягкими климатическими условиями.

Воздействие внешнего источника тепла на тепловое состояние данного физического тела зависит от самого источника и от условий теплообмена.

Для регулирования ВТР земляного полотна автомобильных дорог во всем мире широко наложено применение геотекстильных материалов.

Геотекстиль выполняет функцию разделения слоев и позволяет перераспределить напряжение в основании насыпи, увеличить несущую способность основания, устойчивость откосов, улучшить условия уплотнения земляного полотна. Также в данном применении

материала выполняется функция армирования при проектировании насыпей из грунта повышенной влажности. Слой из геотекстиля раскатывают в продольном направлении по всей ширине земляного полотна. Полотна соединяют между собой склеиванием или сшиванием. Грунт отсыпают на полотно геотекстиля выше торфа на 0,5 м. Перемешивания грунта с торфом не происходит, осадка торфа идет равномерно. Замена песчаных дрен

дренами из геотекстиля позволяет снизить расход песка, повысить темпы строительства, снизить трудоемкость работ.

Влияя на отдельные составляющие теплообмена, можно добиваться необходимых параметров теплообмена и активно регулировать теплообмен дорожной конструкции. Это позволяет регулировать водно-тепловой режим земляного полотна для повышения эксплуатационной эффективности проектируемых дорожных конструкций.



Рисунок 2 – Устройство дорожного полотна на слабых почвах с применением геотекстиля

Рассмотрим какова же выгода от использования геотекстиля в качестве разделительного слоя? Широко известно, что влажные грунты слабее, чем сухие, а мелкозернистые слабее, чем грубозернистые. В данном случае геотекстиль позволяет: предотвратить уменьшение несущей способности, предотвращая смешивание мелких частиц грунта с насыпанным основанием (щебень, гравий и песок) дороги; увеличить несущую способность, предотвращая вдавливание щебня в мягкую подоснову, и таким образом, обеспечивая повышенную степень уплотнения; снизить разрушение дорог, вызываемое воздействием мороза. Задержанные мельчайшие частицы (тонкодисперсные включения) действуют как губка, расширяющаяся при замораживании. Результатом этого является: снижение издержек на укладку (уменьшение использования щебня для достижения такой же несущей способности; сокращение времени строительства); снижение стоимости технического обслуживания.

Совмещение высоких показателей начального модуля упругости и удлинения дает возможность данному материалу поглощать больше энергии по сравнению с другими геотекстилями. Это обеспечивает ему повышенную устойчивость к повреждению во время укладки и в дальнейшем препятствует появлению колеи на дороге, образующейся в результате регулярного проезда транспорта. Результирующая деформация проявляется в поперечном растягивающем напряжении и связанных с ним мембранным и перераспределяющим механизмам. Высокий начальный модуль упругости геотекстиля способствует снижению деформации и таким образом уменьшает колеообразование.

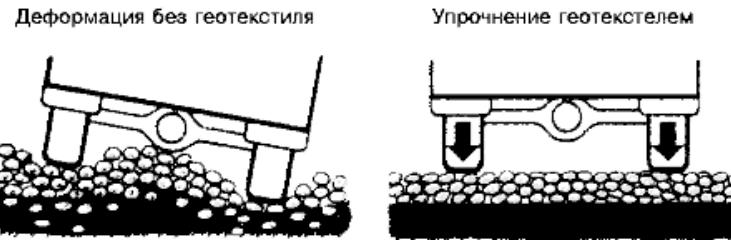


Рисунок 3 – Схема препятствия колеообразованию дорожного полотна с применением геотекстиля, распределяющего напряжения в основании насыпи

Геотекстиль – изотропный материал, его свойства одинаковы во всех направлениях. Это находит отражение в параметрах напряжение-деформация, характерных при его применении в качестве разделительного слоя. Он изготавливается с очень высоким уровнем однородности при непрерывном текущем рентгеновском контроле.

Чаще всего геотекстиль (дорнит) представляет собой иглопробивной геосинтетический материал или фильтрное нетканое полотно, изготовленное из полиэфирных волокон (рис. 4).



Рисунок 4 – Внешний вид геотекстильного материала

Рассмотрим теперь какова же выгода от использования геотекстиля в качестве фильтрующего элемента? Геотекстиль может предотвращать вымывание более мелких частиц грунта в дренажный заполнитель, таким образом поддерживая однородность свойств дренажа. В результате этого мы имеем следующие преимущества: снижение совокупных издержек, так как допускается использование крупнозернистых (более дешевых) материалов; уменьшение издержек на укладку благодаря экономии времени; увеличение времени функционирования дренажной системы; предотвращение эрозии грунтов на склонах. Он создает естественный почвенный фильтр. Вода, проходя из почвы в дренаж через геотекстиль, вымывает мелкие частицы. После вымывания мелких частиц соединительная структура крупных частиц прилегает к геотекстилю, и образуется естественный фильтр, который последовательно уменьшает вымывание, вплоть до его полного прекращения.

Пропускающая способность этой системы определяется водопроницаемостью грунта. Благодаря большому количеству пор и широкому распределению пор по размерам геотекстиль практически не подвержен засорению. Тесты показывают, что геотекстиль сохраняет свои свойства на протяжении долгого времени. Предсжатая структура материала обеспечивает сохранение стабильных свойств при увеличении нагрузок.

Разновидностью геотекстильных материалов являются геосетки, георешетки и геомембранны.

Геосетки ССНП (рис. 5) – геосинтетики, изготавливаемые из сеток стеклянных ните-

прошивных пропитанных, применяются при строительстве или ремонте жестких дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием. Применение геосеток в дорожном строительстве позволяет решить ряд существующих проблем.

Геосетки (геосинтетики) предназначены для армирования, стабилизации слабых грунтов, сооружения временных дорог, обеспечения местной устойчивости откосов и склонов.

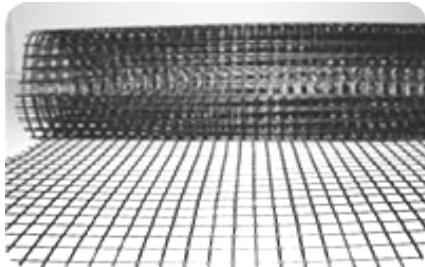


Рисунок 5 – Внешний вид рулона геосетки

Одной из перспективных конструкций для объемного армирования грунта является геотехническая решетка (георешетка) (рис. 6). Георешетка – геосинтетик, представляющий собой гибкий компактный модуль, состоящий из скрепленных между собой пластиковых лент, образующих в растянутом положении пространственную ячеистую конструкцию с заданными геометрическими сочетаниями и размерами.

Георешетка применяется в качестве армирующего материала на рыхлых неоднородных грунтах для автомобильных и железных дорог, в местах стоянок, на посадочных площадках, а также для армирования устоев моста, склонов и земляных дамб, для противоэрозионной защиты откосов. При необходимости повышения коэффициента прочности изделия производится скрепление лент металлическими заклепками.

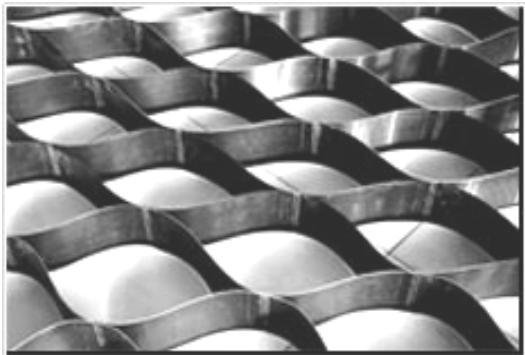


Рисунок 6 – Внешний вид и установка геотехнических решеток

Стенки ячеек имеют тисненую поверхность для увеличения трения с заполняющим материалом и перфорацию для улучшения дренирующих характеристик конструкции. Начато производство неперфорированных георешеток. Принцип действия – сцепление зернистого материала с ячейками решетки. Это заклинивание позволяет решетке оказывать сопротивление горизонтальному сдвигу насыпи, тем самым мобилизовать несущую способность мягкого грунта.

Геомембранны (рис. 7) – это рулонный гидроизоляционный геосинтетический материал, изготовленный из полиэтилена высокой плотности. Надежно защитить, обеспечить гидроизоляцию и отсутствие сырости в зданиях – это одна из главных задач современного строительного проектирования. Геомембрана характеризуется высокой прочностью и стойкостью к воздействию различных веществ. Это продукт, который, благодаря многочисленным выступам, позволяет вентилировать защищаемые поверхности и отводить от них влагу.

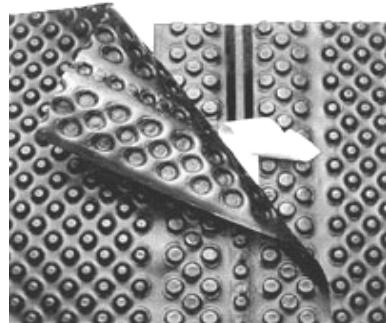


Рисунок 7 – Пример укладки и вид геомембраны

Дорожно-строительная индустрия входит в круг интересов общественности, касающихся вопросов защиты окружающей среды. Все чаще и чаще требуется защита поверхности и грунтовых вод от загрязнений, стекающих с дорог и проникающих через поверхность в подстилающий грунт.

Загрязнение вод возникает вследствие приноса вместе с водой токсинов, образующихся при работе двигателей внутреннего сгорания, частиц от износа шин, торможения на поверхности дороги и противогололедных солей.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы: в статье обоснованы теоретические предпосылки регулирования ВТР автомобильных дорог юго-востока Казахстана и даны характеристики геотекстильных материалов, взятые из размещенных в Интернете рекламных проспектов, применение которых способно перераспределить напряжения в основаниях автомобильных дорог.

#### Список литературы

1. Ярмолинский В.А. Развитие и модернизация опорной автодорожной сети Дальнего Востока для повышения её надежности в процессе эксплуатации: Дисс. ... на соиск. уч. степени д.т.н. / ГОУ ВПО «Тихоокеанский государственный университет». – Хабаровск, 2007. – 415 с.

Получено: 15.01.2008.

---

УДК 625.731.1

**С.С. Шабденов**  
ТОО «Дангыл-АС», г. Алматы

**О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА  
ДЛЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАЗАХСТАНА**

Из курса «Механика грунтов» известно, что грунты рассматриваются как естественно-исторические образования – рыхлые горные породы со всеми присущими им природными особенностями, свойства которых в большей или меньшей степени беспрерывно изменяются под влиянием внешних факторов, которые в водонасыщенных грунтах заполнены водой, а в частично насыщенных – воздухом и водой.

А. У. Бишон и Д. Дж. Ханкель [1] в своих исследованиях подтверждают, что касательные напряжения могут, естественно, восприниматься только скелетом из твердых частиц. С другой стороны, нормальные напряжения в любой плоскости являются суммой двух составляющих: напряжений, воспринимаемых твердыми частицами, и давления в жидкости, находящейся в порах грунта, т.е. в соотношении между нормальным напряжением и изменением объема грунта. Это явление происходит в порах грунта, поэтому оно называется поровым давлением:

$$\frac{\Delta V}{V} = -C_c(\Delta \sigma - \Delta u), \quad (1)$$

где  $\frac{\Delta V}{V}$  – изменение объема, приходящееся на единицу объема грунта;  $\Delta \sigma$  – изменение полного нормального напряжения;  $\Delta u$  – изменение полного давления;  $C_c$  – сжимаемость скелета грунта, относящаяся к данным пределам изменения напряжений.

Сопротивление сдвигу грунтов, так же как и других зернистых материалов, в значительной степени определяется силами трения, возникающими в процессе скольжения в местах контактов их частиц. Для практических целей максимальное сопротивление сдвигу  $\tau$  по любой площадке может быть принято равным:

$$\tau = c' + (\sigma - u) \cdot \operatorname{tg} \varphi', \quad (2)$$

где  $c'$  – сцепление грунта,  $\varphi'$  – угол сопротивления сдвигу;  $\sigma$  – полное нормальное давление, действующее на рассматриваемую поверхность грунта;  $u$  – поровое давление.

В настоящее время при реконструкции дорог на международных транспортных коридорах Республики Казахстан дорожники-подрядчики часто сталкиваются с вышеизложенными проблемами. Согласно нормативным документам [2,4], конструкцию дорожных одежд и высоту насыпей определяют исходя из требований минимально допустимого возвышения низа дорожной одежды над поверхностью земли и над расчетным уровнем грунтовых вод. В связи с этим, при возведении земляного полотна в условиях близкого залегания грунтовых вод и возможности подтопления земляного полотна полевыми и промывными водами, особое значение приобретают требования к уплотнению, упрочнению рабочего слоя, защиты от увлажнения.

Для разработки оптимальных конструкций дорожных насыпей механический перенос методов и решений, разработанных для условий сезонного промерзания, в частности нормирования расчётного состояния верхней части земляного полотна из грунтов Южного Казахстана, нуждается в проверке на основе проведения стационарных и систематических исследований.

Обеспечение устойчивости земляного полотна на орошаемых территориях южной части Казахстана, в основу которого положен принцип удаления низа дорожной одежды от уровня грунтовых вод (УГВ), не является оптимальным в условиях высокого дефицита земельных угодий и требует поиска путей снижения высоты насыпи, достигающей 1,5-2,0 м, что ввиду отсутствия притрассовых резервов грунта приводит к значительному удорожанию строитель-

ства дорог.

Следует иметь в виду, что к орошающим районам необходимо отнести территории, которые на период проектирования дороги пустуют по тем или иным причинам, или же используются под богарное земледелие, однако, в перспективе, на которую рассчитывается дорога, подлежат освоению под орошающее земледелие.

В этих условиях приобретает особую актуальность проблема снижения высоты насыпи, поскольку при этом одновременно решается несколько задач: снижение стоимости строительства дороги, повышение безопасности движения транспорта и сокращение площади ценных орошаемых земель, постоянно занимаемых под дорогу.

Согласно [2] наиболее рациональным направлением в решении проблемы снижения высоты насыпи в условиях отсутствия разуплотнения земляного полотна является повышение его плотности сверх нормативных требований, регулирование водно-теплового режима земляного полотна с помощью гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек, понижение уровня подземных вод с помощью дренажа.

В результате проведенного поиска и просмотра научно-технической литературы, относящейся к автомобильным дорогам Казахстана, можно сделать следующие выводы:

а) исследования по разработке конструкций земляного полотна из связанных грунтов для условий Казахстана, проведенные в СНГ и за рубежом, недостаточны;

б) применяемые в условиях рассматриваемого региона конструкции земляного полотна не учитывают особенностей грунтов и климатических условий региона, поэтому являются неоптимальными;

в) анализ результатов обследования эксплуатируемых дорог и их сопоставление с действующими нормами свидетельствует о наличии значительного резерва, который может быть реализован путем дифференцированного учета особенностей природных условий, чрезвычайное разнообразие которых усреднялось действующими конструкциями и нормативными требованиями.

Литературный анализ результатов исследования водно-теплового режима земляного полотна приводит к выводу, что в условиях засушливой зоны, тем более в орошаемых районах, основным источником увлажнения рабочего слоя являются подземные воды, режим которых тесно связан с режимом поливов. При этом механизм увлажнения связывается, прежде всего, с капиллярным поднятием.

Изложенное позволяет представить себе схему, которую можно было бы использовать для описания земляного полотна в условиях засушливого климата (рис. 1). Увлажнение происходит в результате капиллярного поднятия от УГВ. Последний может колебаться во времени, при этом одновременно колеблется и поверхность капиллярной каймы.

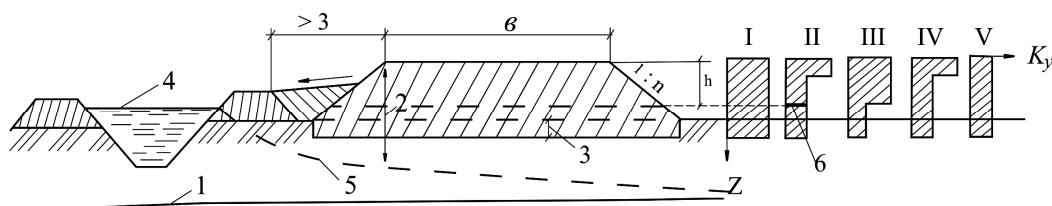


Рисунок 1 – Поперечный профиль насыпей с усовершенствованными конструкциями: 1 – УГВ; 2 – возвышение поверхности покрытия над УГВ; 3 – снимаемый почвенный слой; 4 – расчетный уровень воды в канале; 5 – фильтрационный максимум УГВ; 6 – гидроизолирующая прослойка

Для уточнения и разработки оптимальных конструкций земляного полотна на участках автомобильной дороги «Таскескен-Бахты» (Казахстан) лабораторией ТОО «Даныгыл-АС» и на участках автомобильной дороги Янгиюльского района Ташкентской области (по маршруту 4Н-718 и 4Н-719) Ташкентским автодорожным институтом одновременно с авторами проведены полевые экспериментальные исследования в течение 2006-2007 гг. Цель экспериментальных исследований – изучить существующую плотность земляного полотна по глубине на существующих и эксплуатируемых дорогах.

Основная часть обследованных дорог находится в орошаемых районах и относится преимущественно ко II и III категориям. По данным обследований, поверхностный сток обеспечен, состояние покрытия – хорошее, деформации отсутствуют.

Свойства грунтов определялись в соответствии с существующими стандартными методами исследования грунтов.

В таблицах 1, 2 приводятся гранулометрический состав и физико-механические свойства грунтов.

Таблица 1

*Гранулометрический состав грунта*

Наименование грунта по [2]	Содержание фракций, %				
	0,25-0,15	0,15-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005
Легкий пылеватый суглинок	0,3	1,02	57,62	12,26	28,80
Тяжелая пылеватая су- песь	0,4	13,09	61,56	7,94	17,01

Таблица 2

*Физико-механические свойства грунтов*

Грунт №№	Предел теку- чести, $W_t$	Предел раска- тывания, $W_p$	Число пла- стичности, $I_p$	Оптимальная влажность, $W_o$	Максимальная плотность $p$ , $t/m^3$
1	0,27	0,19	0,08	0,15	1,79
2	0,266	0,21	0,056	0,17	1,75

Во время обследования дорог определяли бытовую плотность по глубине, высоту насыпей, уровень грунтовых вод (табл. 3).

Таблица 3

*Уровень грунтовых вод (м) от поверхности земли в мае и сентябре 2006 г.  
(на примере Узбекистанских дорог)*

Наименование дорог	Май	Сентябрь
1. 4Н-718 (Узбекистан)*	1,95	1,90
2. 4Н-719 (Узбекистан)*	1,80	2,00

3. Р 14 (Казахстан)	1,56	1,78
---------------------	------	------

Примечание. \*Данные д.т.н., профессора ТАДИ А.К. Каюмова.

Оценка плотности земляного полотна производилась методом режущего кольца и Казахстанским уклономером-плотномером (УПК-2) при эксплуатации.

Обобщенные данные о расчетных значениях коэффициента уплотнения и вариации грунтов, полученные при обследовании дорог в 2006-2007 гг., приведены в табл. 4. Земляное полотно на опытных участках сооружено из супеси пылеватой, супеси тяжелой пылеватой, суглинков легких пылеватых.

Таблица 4

*Наименьший коэффициент уплотнения грунта на обследованных дорогах*

Шифр дороги	Год	Период	Коэффициент уплотнения К <sub>у</sub> на глубине (м) от низа дорожной одежды				
			0,1	0,3	0,5	0,8	1,0
4Н-718 (Узбекистан)	2006*	Весна	0,98 0,04	1,00 0,05	0,98 0,08	0,97 0,10	0,96 0,06
		Лето	0,99 0,03	0,98 0,06	0,99 0,03	0,96 0,04	0,97 0,07
		Осень	0,99 0,02	0,99 0,08	1,00 0,08	0,96 0,05	0,93 0,08
	2007*	Весна	1,02 0,05	1,01 0,07	0,99 0,04	0,98 0,06	0,92 0,09
		Лето	1,01 0,08	1,00 0,06	0,97 0,03	0,95 0,08	0,95 0,07
Р 14 (Казахстан)	2006	Весна	1,00 0,03	1,01 0,03	0,98 0,08	0,97 0,04	0,95 0,06
		Лето	1,00 0,02	0,98 0,04	0,96 0,02	0,94 0,03	0,93 0,07
		Осень	1,01 0,07	0,99 0,05	1,00 0,05	0,94 0,02	0,96 0,08
	2007	Весна	0,99 0,08	1,00 0,05	0,97 0,06	0,97 0,05	0,93 0,09
		Лето	1,01 0,04	1,00 0,06	0,98 0,07	0,94 0,06	0,95 0,05

Примечание. \*Результаты совместных исследований автора с д.т.н., проф. ТАДИ А.К. Каюмовым.

В результате полевых исследований и статической обработки полученных данных и исходя из необходимости снижения высоты насыпи и повышения прочности земляного

полотна разработаны следующие конструкции (рис.1): I, V – с постоянным коэффициентом уплотнения  $K_y$  по глубине (I – повышенной плотности,  $K_y > 1$ , применяется при действии обоих источников увлажнения полотна; V – традиционная с  $K_y = 0,96$ ); II – в обойме из слоя повышенной плотности вверху и гидроизолирующей прослойки внизу; III, IV – с повышенной плотностью в одном или двух слоях.

При размещении земляного полотна вдоль открытого коллектора или дрены между бровкой коллектора и подошвой насыпи следует устраивать берму шириной не менее 3-х м.

Из табл. 4 видно, что коэффициент вариации колеблется в пределах 0,02-0,08, в среднем 0,05. Показатель точности находится в пределах 0,01-0,03, в среднем 0,02.

Статистическая обработка значений коэффициента уплотнения земляного полотна приведена в табл. 5. Отсюда видно, что коэффициент вариации коэффициента уплотнения колеблется в пределах 0,0136 и 0,0209.

Таблица 5

Статистическая обработка значений коэффициента уплотнения земляного полотна

Секция	При строительстве а/д 4Н-718 (Узбекистан, 1985 г.)*					При строительстве а/д Р 14 (Казахстан, 2006-2007 гг.)				
	$K_y^i$	$K_y^i - K_y^{(CP)}$		$(K_y^i - K_y^{(CP)})^2$	$K_y^i$	$K_y^i$	$K_y^i - K_y^{(CP)}$		$(K_y^i - K_y^{(CP)})^2$	
		+	-				+	-		
1	2	3	4	5	6	10	11	12	13	
1	1,01	0,01		0,0001	1,02	1,02	0,01		0,0001	
2	0,99		0,01	0,0001	0,99	0,99		0,02	0,0001	
3	1,00		0	0	0,99	0,99		0,02	0	
4	0,99		0,01	0,0001	0,98	0,98		0,03	0,0001	
5	1,02	0,02		0,0004	1,03	1,03	0,02		0,0004	
6	1,01	0,01		0,0001	1,04	1,04	0,03		0,0001	
7	1,02	0,02		0,0004	1,03	1,03	0,02		0,0004	
8	1,01		0,01	0,0001	1,01	1,01		0	0,0001	
9	-	-	-	-	1,00	1,00		0,01	-	
$\Sigma$	8,05			0,0013	9,09	9,09			0,0013	
$\bar{K}_y$	1,00				1,01	1,01				
D	0,00018				0,00045					
$\sigma$	0,0136				0,0212					
v	0,0136				0,0209					
$K_y^{0,95}$	0,9864				0,9888					

Примечание. \*Данные д.т.н., профессора ТАДИ А.К. Каюмова (1985 г.).

Экономический эффект от применения предложенных конструкций земляного полотна состоит в следующем:

1. Использование грунтов при сооружении насыпей земляного полотна в засушливой

зоне Казахстана в переуплотненном состоянии с повышением модуля упругости уплотненных грунтов и сохранением их значений в процессе эксплуатации дает экономический эффект за счет уменьшения толщины дорожных одежд, что позволит снизить расход материалов на 15-20 %.

2. Применение предложенных конструкций земляного полотна позволяет снизить вы соту насыпи и площади постоянно занимаемых земель (экономический эффект) на 1 км дороги – 446 тыс. тенге.

Список литературы

1. А.У. Бишоп, Д.Дж. Ханкель. Определение свойств грунтов в трехосных испытаниях/Пер. с англ. д.т.н., проф. Г.И.Тер-Степаняна. – М.: Гос. изд. по стр., арх. и стр. материалам, 1961. – 231 с.
2. СНиП РК 3.03.03. Автомобильные дороги.
3. СН РК 3.03.19-2006. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа.
4. СН РК 3.03-34.2006. Инструкция по проектированию жестких дорожных одежд.

Получено 10.03.2008.