

*И. И. ЛЕОНОВИЧ*

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ВЯЗКИМИ БИТУМАМИ**

На автомобильных лесовозных дорогах применяются различные типы покрытий: усовершенствованные, переходные и низшие. Применение их определяется местными условиями и эксплуатационными требованиями. Протяженность основных лесовозных дорог, имеющих различные покрытия, характеризуется следующими цифрами. Длина снежных и грунтовых дорог составляет 43000 км, деревянно-лежневых—6000 км, ледяных—2000 км, грунто-щебеночных—500 км, колейно-железобетонных—50 км.

Эти данные показывают, что преобладающими на лесовозных дорогах являются низшие типы покрытий, устроенные из местных грунтов. Местные грунты в лесной зоне, как правило, имеют прочность меньше той, которую требует возросшая интенсивность движения большегрузных автомобилей. При переувлажнении покрытия практически теряют всякую несущую способность. Простои автомобилей из-за распутицы грунтовых лесовозных дорог составляют в году в среднем около 100 дней.

Для обеспечения потребной несущей способности дороги в период избыточного увлажнения требуется возведение земляного полотна из оптимальных грунтовых смесей и устройство покрытия из каменных материалов. При отсутствии каменных материалов дорогу из местного грунта необходимо укреплять вяжущими добавками—цементом, известью, дегтем или битумом.

Хорошим стабилизирующим материалом является цемент, а также известь, деготь и битумы. Известь может увеличить прочность грунта, но получаемая смесь является недостаточно гидрофобной и под действием осадков теряет свою прочность.

Лучшие результаты дают органические вяжущие. Применение их может обеспечивать потребную прочность и доста-

точную водоустойчивость покрытия автомобильных лесовозных дорог.

Органические вяжущие материалы, применяемые в дорожном строительстве, разделяются:

1) на битумные материалы—вязкие и жидкие битумы, битумные эмульсии, битумные пасты;

2) на дегтевые материалы—каменноугольные (высокотемпературные и низкотемпературные) пеки, каменноугольное масло, каменноугольные дегти, дегтевые эмульсии, дегтевые пасты, торфяные дегти;

3) на сланцевые битумы—вязкие битумы, жидкие битумы.

Применение того или иного вяжущего для стабилизации каменных материалов или грунтов требует выбора оптимального режима и технологии производства работ.

Решению этого вопроса посвящен целый ряд исследований советских и зарубежных ученых. Большой вклад в развитие теории укрепления грунтов внесли проф. В. М. Безрук, акад. П. А. Ребиндер, проф. М. М. Филатов и др. Разработке способов стабилизации грунтов посвящены работы А. К. Бируля, Н. Н. Иванова, Л. Я. Кремнева, С. И. Гельфонда, А. И. Лысихиной, М. Ф. Никишиной и др. Проблемой укрепления грунтов автомобильных лесовозных дорог в настоящее время занимаются многие научные работники лесотехнических высших учебных заведений, а также научно-исследовательские и частично проектные институты лесной промышленности.

Устройство покрытий с применением органических вяжущих материалов можно производить одним из следующих способов.

1. Вязкое вяжущее нагревается и перемешивается в смесителе с минеральным материалом. Смесь укладывается и уплотняется.

2. Жидкий битум смешивается с минеральным материалом без нагрева. Смешение может производиться как в смесителе, так и непосредственно на дороге. Смесь разравнивается и уплотняется при обычной температуре.

3. Вязкий битум разжижается керосином или другим нефтепродуктом, смешивается при обычной температуре с минеральным вяжущим. Смесь разравнивается и уплотняется до испарения растворителя.

4. Из вяжущего материала приготавливается эмульсия, которая с минеральным материалом смешивается при обычной температуре. Смесь разравнивается и уплотняется до полного распада эмульсии.

5. Минеральный материал разравнивают и поверх его разливают вяжущее, которое протекает в промежутки между частицами минерального и связывает их между собой (метод пропитки).

6. На подготовленное полотно разливается вяжущее, затем производится засыпка минеральным материалом (обратная пропитка).

Для определения условий применения того или иного способа постройки покрытий автомобильных лесовозных дорог с использованием вяжущих и выбора наиболее экономичных режимов производства работ необходимо провести большое количество исследований и решить целый ряд технических задач.

Одной из таких задач является исследование возможности укрепления грунтов вязкими битумами и установление наиболее рациональных режимов производства работ.

Лабораторным путем были установлены зависимости основных характеристик грунтовых смесей от марки и количества битума, а также от температуры обработки грунта.

Исследования проводились в дорожно-грунтовой лаборатории Белорусского лесотехнического института. Состав грунта, который подвергался укреплению вяжущими материалами, определялся ареометрическим методом. Один грунт был отнесен к песчаному, другой к супеси (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав грунта, %

Наименование грунта	Размер фракции, мм						
	>7	7—5	5—3	3—1	1—0,5	0,5—0,25	<0,25
Песок	2,56	3,77	6,52	21,10	13,55	33,80	18,70
Супесь	6,89	7,25	11,00	45,65	12,11	6,35	10,75

В качестве вяжущих материалов были взяты вязкие нефтяные битумы, представляющие собой твердые нефтепродукты, полученные в виде остатка при крекировании нефти (табл. 2).

Изготовление образцов из грунта, обработанного вяжущим, производилось в цилиндрических формах, диаметром 50,5 мм и высотой 75 мм. Вначале готовился пробный образец из навески 200—230 г. Полученный образец подвергался контрольному измерению, и если высота его отличалась больше  $\pm 1$  мм от нормативной (50 мм), то навеска уточнялась.

Навеска в форму наполнялась в три приема. Каждая часть равномерно распределялась шпателем и немного уплотнялась. После наполнения формы образцы прессовались на гидравлическом прессе под нагрузкой 200 кг/см<sup>2</sup> в течение 3 мин., затем нагрузка снималась, а образец извлекался из формы. Температура нагретого битума перед употреблением доводилась до 150°C.



Для оценки свойств грунтов, обработанных битумами БН-I и БН-II, в лаборатории определялись следующие характеристики: объемный вес, водонасыщаемость, набухание, предел прочности.

Таблица 2

Основные характеристики вяжущих

Характеристики	Номер вяжущего	
	1	2
Глубина проникания иглы при 25°C	125	83
Температура размягчения на приборе „шар-кольцо“, °C	68	42
Растяжимость при 25°C, мм	218	125
Растворимость в хлороформе, %	99,41	99,41
Потери в весе при 160°C за 5 час., %	2,6	3,4
Глубина проникновения иглы в остаток от первоначальной величины, %	85	80
Температура вспышки по Бренкену, °C	228	240
Содержание воды, %	нет	нет
Содержание водорастворимых, %	0,2	0,3
Марка битума	БН-I	БН-II

Определение объемного веса производилось путем гидростатического взвешивания. При этом приготовленный образец в сухом состоянии при  $t=18-20^{\circ}\text{C}$  взвешивался на технических весах с точностью до 0,1 г. Затем взвешивание производилось в воде при температуре  $20-22^{\circ}\text{C}$ . По разности веса образца на воздухе и в воде вычислялся его объем; объемный вес определялся по формуле:

$$\gamma = \frac{q_1}{q_1 - q_2} \text{ г/см}^3,$$

где  $q_1$ —вес сухого образца на воздухе, г;  $q_2$ —вес образца в воде, г.

Данные, характеризующие зависимость объемного веса от типа грунта, марки и процента вводимого битума, приведены на рис. 1. Приготовление образцов производилось с предварительным подогревом грунта до температуры  $80-90^{\circ}\text{C}$ . Так как требованиями технических условий объемный вес образцов, изготовленных из песчаных и супесчаных грунтов, установлен в пределах  $1,85-2,0 \text{ г/см}^3$ , то по графикам (рис. 1) можно выбрать потребное количество битума, при введении которого получим необходимую плотность дорожного покрытия. Из графиков видно, что супесчаные грунты при том же количестве битума дают более плотные смеси, чем песчаные, и поэтому являются лучшими для покрытий.

Водонасыщаемость образцов, как отношение количества воды, поглощенной в вакууме, к первоначальному весу или объему, выраженное в процентах, характеризует остаточную

пористость и косвенно служит показателем уплотнения смеси. При испытаниях образцов водонасыщаемость определялась в следующем порядке.

Образцы, выдержанные при комнатной температуре, взвешивались с точностью до 0,01 г на воздухе и в воде. Затем они опускались в сосуд с водой (20—22°C) до полного погружения и вместе с сосудом помещались в вакуум-эксикатор

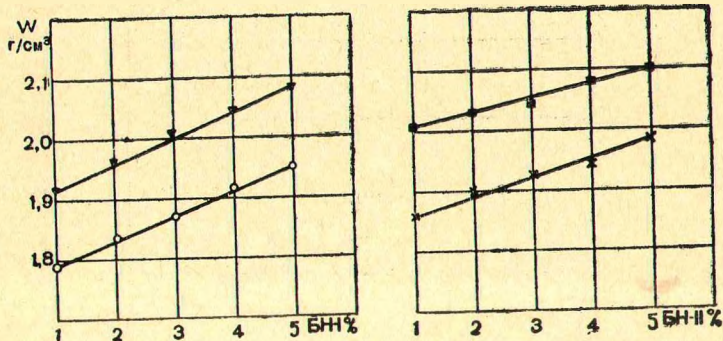


Рис. 1. Зависимость объемного веса образцов от типа грунта, марки и процент вводимого битума.

▼—супесь (БН-I); ○—песок (БН-I); ■—супесь (БН-II); ×—песок (БН-II).

при остаточном давлении 10—15 мм рт. ст., где выдерживались в течение 1 час. По истечении часа давление доводилось до нормального, образцы извлекались из воды, с их поверхности удалялась вода и они взвешивались на воздухе и в воде.

Водонасыщаемость по весу определялась по формуле:

$$W = \frac{q_2 - q_1}{q_1} \cdot 100 \%,$$

где  $q_1$ —вес сухого образца на воздухе, г;  $q_2$ —вес насыщенного образца на воздухе, г.

Водонасыщаемость по объему равна:

$$W_{об} = \frac{q_2 - q_1}{q_1 - q_3} \cdot 100 \%,$$

где  $q_3$ —вес сухого образца, погруженного в воду, г.

Зависимость водонасыщаемости образцов от типа грунта, марки и процента вводимого битума характеризуется данными рис. 2. Для песка и супеси водонасыщаемость по весу не должна превышать 15%. Из графиков видно, что этого условия можно добиться путем введения в грунт битума более 2%. Температурный режим обработки при этом необходимо выдерживать в пределах 100—120°C.

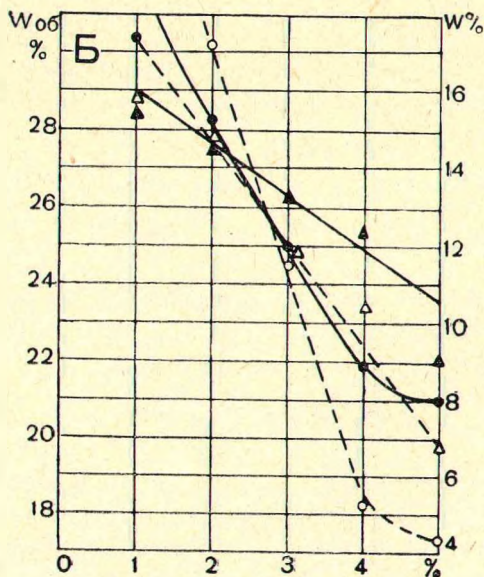
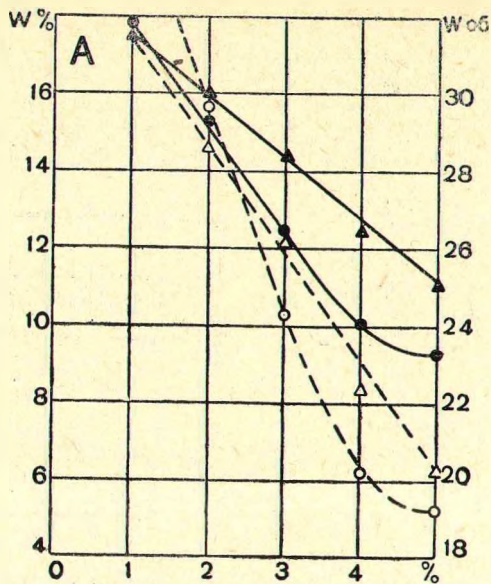


Рис. 2. Зависимость водонасыщаемости образцов по весу  $W$  (сплошные линии) и по объему  $W_{об}$  (штриховые линии) от типа грунта, марки и процента вводимого битума. А—битум БН-I; Б—БН-II; ▲, △—песок; ●, ○—супесь.



Набухание образцов, позволяющее судить о гидрофильности покрытия, представляет собой отношение увеличения объема образца после водонасыщения к его первоначальному объему. Для определения набухания использовались данные, полученные при испытании образцов на водонасыщаемость. Величина набухания вычислялась по формуле:

$$A = \frac{(q_2 - q_4) - (q_1 - q_3)}{q_1 - q_3} \cdot 100 \%,$$

где  $q_4$ —вес водонасыщенного образца в воде, г.

Данные результатов лабораторных испытаний по определению набухания показывают, что битум марки БН-1 как менее вязкий более прочно взаимодействует с грунтом (рис. 3). Супесчаные грунты, имеющие в своем составе значительное количество мелкозернистых фракций, после обработки битумом набухают более интенсивно, чем песчаные.

Механическая прочность покрытия, характеризующаяся пределом прочности на сжатие водонасыщенных образцов, определялась по формуле:

$$R = \frac{P}{F} \text{ кг/см}^2,$$

где  $P$ —разрушающая нагрузка, кг;  $F$ —первоначальная площадь образца, см<sup>2</sup>.

Прочность образцов, приготовленных при температуре 100—120°C, определялась следующим образом (рис. 4). Образцы выдерживались при комнатной температуре в течение 48 час., после чего на 2 час. помещались

в воду для водонасыщения. Затем они извлекались из воды с их поверхности удалялась вода, и они закладывались в пресс для испытания.

Температура обрабатываемого грунта оказывает заметное влияние на все характеристики грунтоасфальта. С целью установления этого влияния были проведены испытания, при которых грунт нагревался до различной температуры. Полу-

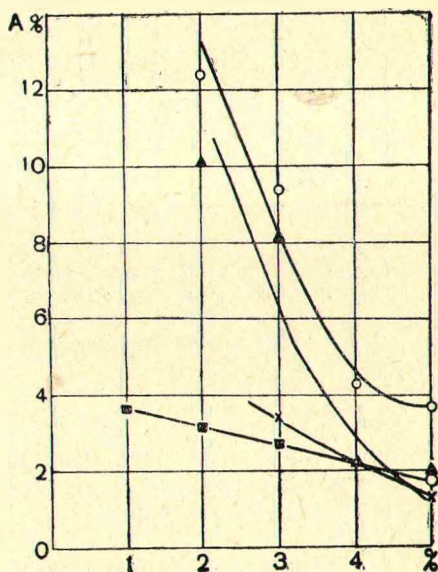


Рис. 3. Зависимость набухания образцов  $A$  от типа грунта, марки и процента вводимого битума:

×—супесь (БН-I); ■—песок (БН-I);  
○—супесь (БН-II); ▲—песок (БН-II)

ченные значения характеристик при изменении температуры песчаного грунта от 40 до 140°C и при введении битума БН-1 в количестве 4% приведены на рис. 5. Как показывают данные, при увеличении температуры обрабатываемого грунта все исследованные характеристики улучшают свое значение—смесь получается лучшего качества. Более интенсив-

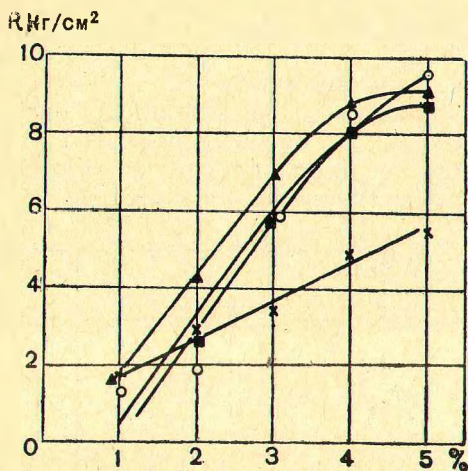


Рис. 4. Зависимость предела прочности покрытия  $R$  от типа грунта и марки вводимого битума. Обозначения те же.

ное улучшение характеристик происходит при температуре, не превышающей 100°C. После 100° улучшение идет менее интенсивно. Это позволяет заключить, что для получения горячей смеси температуру грунта достаточно доводить до 120—150°C.

Выбор оптимальных режимов укрепления грунтов можно производить путем сопоставления фактических физико-механических свойств с требованиями, которые предъявляются к грунтам, укрепленным битумом (табл. 3).

Учитывая данные табл. 3 и анализируя полученные в период испытаний основные зависимости физико-механических свойств грунтов, укрепленных вяжущими, можно сделать следующие выводы:

Таблица 3  
Требуемые физико-механические характеристики грунтов, укрепленных битумом

Наименование физико-механических свойств грунтов, укрепленных вяжущими	Единица измерения	Показатели свойств для покрытий
Объемный вес	г/см <sup>3</sup>	не менее 1,95
Коэффициент уплотнения	—	0,95
Водонасыщаемость под вакуумом по весу	%	не более 15
Набухание	"	" 6
Глубина погружения конуса в водонасыщенном образце	мм	не более 8
Прочность образцов, водонасыщенных под вакуумом при $t=20^{\circ}\text{C}$	кг/см <sup>2</sup>	не менее 3
Модуль деформации укрепленного грунта в водонасыщенном состоянии	—	" 300



1. Нагретые в смесителе песчаные и супесчаные грунты при смешении с нагретым вязким битумом дают смеси, которые по всем основным показателям удовлетворяют необходимым требованиям при условии их применения для покрытия автомобильных лесовозных дорог.

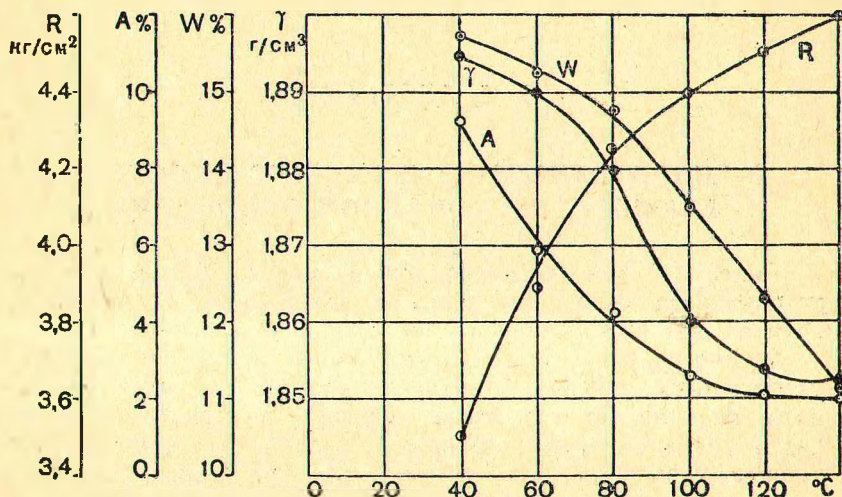


Рис. 5. Влияние температуры на основные характеристики образцов.

2. Битум с большей вязкостью (БН-II) при горячем смешении с грунтом обеспечивает более высокие качества смеси, чем битум, имеющий меньшую вязкость (БН-I). Однако грунт, обработанный битумом БН-II, набухает больше, чем тот же грунт, обработанный битумом БН-I.

3. Содержание в песке минерального порошка (включая пылеватые частицы) положительно влияет на качество грунтоасфальта.

4. При смешении вязких битумов с грунтом рекомендуются следующие температуры нагрева: для битума БН-I—120—150°C, для битума БН-II—130—160°C и для грунта—120—150°C.

5. Устойчивое покрытие горячим способом может быть получено при введении в грунт вязкого битума в количестве 4—5% по весу.

6. Для испарения влаги и нагрева 1т грунта до температуры 150°C в среднем необходимо затрачивать около 200 тыс. ккал тепла, что соответствует 20 кг солярового масла.

7. Для приготовления смесей грунта и вязкого битума в производственных условиях целесообразно разработать специальную установку.