

И. И. ЛЕОНОВИЧ, Б. И. ВРУБЛЕВСКИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Идея использования местных грунтов как материалов для устройства дорожных одежд, выдвинутая около 40 лет назад М. М. Филатовым, П. А. Земятченским и В. В. Охотиным, получила разностороннее теоретическое обоснование в трудах советских ученых и блестящее подтверждение на практике.

Однако грунты в естественном состоянии при увлажнении имеют низкие физико-механические свойства. Введение в грунт различных вяжущих веществ с последующим перемешиванием и уплотнением резко повышает водоустойчивость, придает грунтам достаточную механическую прочность. Дорожная одежда из укрепленных грунтов обеспечивает бесперебойную работу автомобильного транспорта в течение всего года.

Основными способами укрепления грунтов являются: укрепление неорганическими вяжущими, укрепление органическими вяжущими, комплексные методы, основанные на применении тех и других, и, наконец, укрепление грунтов высокополимерными материалами.

Первые три способа изучены достаточно подробно. Существует стройная теория применения органических и минеральных вяжущих для укрепления различных по своему составу грунтов. Однако на практике укрепление грунтов органическими и неорганическими вяжущими имеет ряд недостатков.

Применение в дорожном строительстве жидких битумов, битумных эмульсий и дегтей низкой вязкости подчас не обеспечивает необходимой прочности и водоустойчивости битумогрунта. Например, супесь тяжелая, укрепленная 8% жидкого битума, имеет прочность при сжатии $4,6 \text{ кг/см}^2$. Грунт, укрепленный 7,1% битумной эмульсией, на вторые сутки после водонасыщения имел прочность 12 кг/см^2 . Увеличение же вязкости приводит к необходимости улучшения перемешивания вяжущего с грунтом и может быть достигнуто лишь путем внесения его в грунт в разогретом виде ($150\text{—}180^\circ\text{C}$) или в виде битумных эмульсий. Все это связано с большими трудностями и усложнениями технологии строительства.

Из неорганических вяжущих наибольшее распространение в практике дорожного строительства получили цемент и известь. Прочность на сжатие цементогрунта в значительной степени изменяется в зависимости от количества внесенного в грунт цемента. Цементогрунт с большим содержанием цемента быстро покрывается трещинами и разрушается. Он также не обладает достаточной морозоустойчивостью. Так, если до замораживания цементогрунт имел предел прочности на сжатие $36\text{—}50 \text{ кг/см}^2$, то после 15 циклов замораживания — оттаивания

этот предел уменьшался до 20—31 кг/см^2 , т. е. почти в два раза. Цементогрунт с малым количеством цемента также не обладает необходимой прочностью. Укрепление известью имеет тоже ряд недостатков.

Относительно удовлетворительной прочности при укреплении грунта известью можно достигнуть лишь при большом ее расходе (8—12% по весу грунта). Кроме того, известь вредна для здоровья человека и теряет свойства вяжущего при хранении на открытом воздухе свыше одного месяца.

Развитие химической промышленности открывает возможность применения новых материалов и в первую очередь — синтетических смол.

Как показывают исследования, введение в грунт смол в количестве 2—4% от его веса обеспечивает необходимую прочность грунта и позволяет использовать его в целях дорожного строительства.

Однако смологрунты по своим свойствам близки к цементогрунтам. Они хрупки, неводостойки. В целях придания смологрунтам большей деформативности и увеличения водостойкости многие исследователи ведут поиски введения в смологрунт различных пластифицирующих добавок.

Нами в лабораторных условиях проведены исследования по выявлению возможности применения карбамидных смол М-70 в сочетании с нефтью Речицкого месторождения для укрепления грунтов.

Для определения физико-механических свойств грунта, укрепленного этим вяжущим, приготавливались стандартные цилиндрические образцы размером по высоте и диаметру 50 мм. После приготовления они выдерживались определенное количество суток в воздушно-сухих или влажных условиях полимеризации.

Определение прочности при сжатии образцов производилось на испытательной машине УМ-5А. Модуль деформации определяли по методу, предложенному Ленинградским филиалом СоюзДорНИИ, — не путем вдавливания штампа, а в условиях свободного бокового расширения. При этом использовалась формула

$$E = \frac{ph}{l(1-\mu)},$$

где p — удельное давление, кг/см^2 , под действием которого получена величина деформации, равная l см; h — величина образца, см; μ — коэффициент Пуассона, величина может быть принята равной 0,25; $1-\mu$ в знаменателе представляет собой переход от значения модуля деформации со свободным боковым расширением, полученного в опыте, к модулю с ограниченным боковым расширением, принятым в методе расчета СоюзДорНИИ.

Для исследований был взят песок средний, характеризующийся следующим гранулометрическим составом: части размером менее 0,1 мм — 35,5%, от 0,1 до 0,25 мм — 27%, от 0,25 до 0,5 мм — 23,9%, более 1 мм — 25,1%; супесь тяжелая с гранулометрическим составом: частиц размером менее 0,1 мм — 75,9%, 0,5—0,1 мм — 21,1%, более 0,5—2 мм — 3%; глина и смесь, составленная из супеси (50%) и глины (50%).

Технология приготовления образцов состояла в следующем: нефть тщательно перемешивали со смолой, потом в вяжущее перед введением его в грунт добавляли отвердитель в количестве 1% к весу смолы. Вся смесь перемешивалась в механической лабораторной мешалке, и из смеси приготавливались образцы.

Для всех типов грунта бралось 3% смолы по сухому остатку и 3% нефти.

Анализ проведенных исследований показывает, что песок, укрепленный этим вяжущим, имеет самые высокие прочностные показатели. Так, предел прочности его при сжатии на 7-е сутки при воздушно-сухих условиях полимеризации составил $57,5 \text{ кг/см}^2$, а модуль деформации — 2200 кг/см^2 , при влажных условиях полимеризации — соответственно 55 и 1867 кг/см^2 .

У супеси эти показатели соответственно равны $19,9$ и 1060 кг/см^2 , $18,1$ и 1105 кг/см^2 ; у искусственной смеси (50% супеси + 50% глины) — $16,0$ и 858 кг/см^2 , $3,3$ и 197 кг/см^2 , а у глины — $8,8$ и 411 кг/см^2 , $5,0$ и 213 кг/см^2 .

Следует отметить, что с увеличением возраста образцов прочность их во всех случаях повышается. Так, если предел прочности у образцов супеси воздушно-сухого режима полимеризации на 1-е сутки составил $5,2 \text{ кг/см}^2$, а модуль деформации 333 кг/см^2 , то в возрасте 28 суток эти цифры увеличились до $30,8 \text{ кг/см}^2$ и 1489 кг/см^2 . Те же образцы, находящиеся во влажных условиях полимеризации, имели несколько меньшие величины предела прочности при сжатии ($4,8 \text{ кг/см}^2$) и модуля деформации (239 кг/см^2) через одни сутки после их приготовления. Однако в возрасте 28 суток эти образцы имели прочностные показатели почти те же, что и первые.

Аналогичные данные и у образцов песка, только абсолютные значения их выше, чем у супеси, глины и у супесчано-глинистой смеси.

Известно, что нефть в смолонефтегрунте играет водоотталкивающую роль. Этим объясняется тот факт, что процесс полимеризации и увеличения прочностных показателей образцов продолжается и после помещения их в воду (водонасыщения). Так, если образцы супеси влажного режима полимеризации через 1 сутки после их приготовления имели предел прочности при сжатии $4,8 \text{ кг/см}^2$, а модуль деформации 239 кг/см^2 , то у тех же образцов после 2-суточного водонасыщения эти показатели соответствовали $14,5$ и 653 кг/см^2 .

Гранулометрический состав грунта играет важную роль во взаимодействии вяжущего с частицами грунта. С увеличением количества глинистых частиц прочностные показатели грунтов уменьшаются, что видно из следующей таблицы.

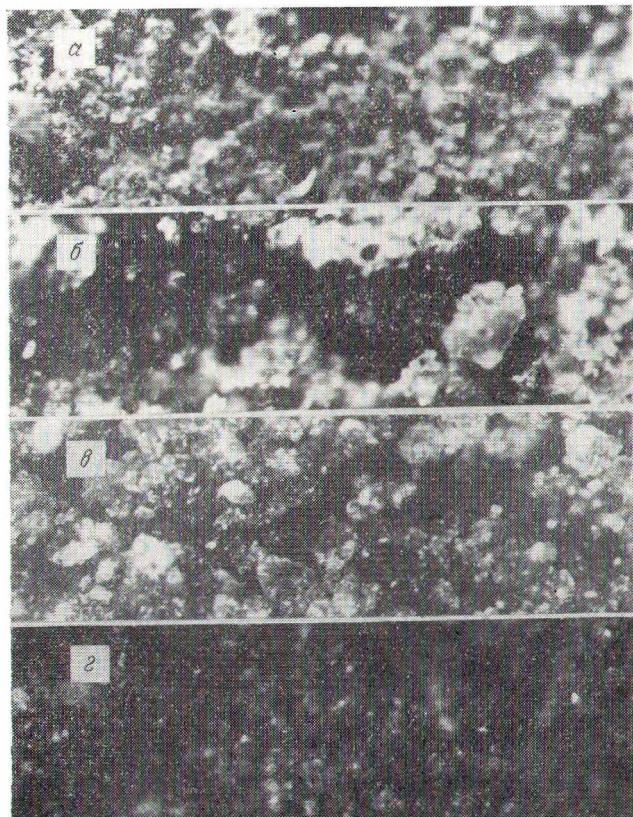
Таблица

Прочностные характеристики нефтесмологрунта

Тип грунта	Возраст образцов и режим полимеризации					
	7 суток, елажный		14 суток, влажный		28 суток, влажный водонасыщенный	
	$\sigma_{сж}^*$ кг/см ²	E , кг/см ²	$\sigma_{сж}^*$ кг/см ²	E , кг/см ²	$\sigma_{сж}^*$ кг/см ²	E , кг/см ²
Песок	55,0	1867	72,5	3220	65,9	2930
Супесь	18,1	1105	18,9	1190	30,5	1478
Супесь + глина (50% + 50%)	3,3	197	10,3	524	15,4	812
Глина	5,0	213	7,8	407	11,5	488

Это происходит потому, что с увеличением количества глинистых частиц увеличивается и удельная поверхность грунта. С увеличением же удельной поверхности потребность в вяжущем возрастает, поскольку требуется, чтобы силы сцепления (когезии) были достаточными для придания грунтам необходимых прочностных свойств.

Чем лучше обволакивание частиц, тем выше силы когезии, а значит, и выше прочностные показатели грунта. Это полностью подтверждают и микроструктуры образцов различного гранулометрического состава (см. рисунок).



Микроструктура образцов грунта, укрепленного комплексным вяжущим (увеличение 20 раз):

а — глина; *б* — супесчано-глинистая смесь; *в* — супесь тяжелая; *г* — песок средней крупности

Глина имеет большую удельную поверхность, чем смесь глина + супесь или супесь или песок. Обволакивание частиц у глины произошло не полностью. С увеличением крупности грунтовых частиц улучшается их обволакивание, что отчетливо видно на рисунке, где мелкие частицы служат заполнителем между крупными частицами.

Произведенные нами исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Сочетание нефти Речицкого месторождения с карбамидной смолой М-70 вполне возможно для укрепления грунтов в практике дорожного строительства.

2. Прочностные показатели грунтов, укрепленных комплексным вяжущим (смола + нефть) зависят в значительной степени от гранулометрического состава и мало зависят от условий полимеризации.

3. Предел прочности при сжатии и модуль деформации нефтесмологрунта гораздо выше прочностных показателей цементогрунтов или битумогрунтов.

Белорусский технологический институт
им. С. М. Кирова

Поступило в редакцию
14.IV 1969