

ТРУДЫ
ВОЕННО-ТРАНСПОРТНОЙ АКАДЕМИИ
КРАСНОЙ АРМИИ
им. Л. М. КАГАНОВИЧА

ВЫПУСК № 1

1941 г.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВТА
ЛЕНИНГРАД

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВТА КРАСНОЙ АРМИИ

МАТЕРИАЛЫ
ПО ВОЕННОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

1939 г.

АВТОДОРОЖНАЯ СЕКЦИЯ

ВОЕННО-ТРАНСПОРТНАЯ АКАДЕМИЯ КРАСНОЙ АРМИИ
им. Л. М. КАГАНОВИЧА

Ленинград—1941

СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТОВЫХ ДОРОЖНЫХ ОСНОВАНИЙ ХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Свойства грунтов, как дорожно-строительного материала, несомненно, в первую очередь обусловливаются их физико-механическими свойствами. Это настолько очевидно, что в настоящее время ни у кого не вызывает никаких сомнений.

При изучении поведения некоторых грунтов в дорожном полотне выяснилось, что они являются неудовлетворительными, при переувлажнении они теряют свою несущую способность и дорожное полотно приходит в полное расстройство. Поскольку было известно, что физико-механические свойства грунтов очень сильно влияют на их поведение в дороге, то вполне естественно, что и исследовательская мысль направилась по пути улучшения их физическими методами. Однако эти методы улучшения грунтов в некоторых случаях являются нерентабельными, а иногда их невозможно и применить.

Известно, что химизм грунтов существенным образом влияет на их свойства и, изменив химизм грунта, можно тем самым изменить его природу.

Изменение свойств грунта химическим путем в других видах строительства имеет место уже сравнительно давно. Поэтому естественно было использовать эти методы в дорожном деле и применить их к дорожному полотну.

При применении химических методов укрепления грунтов необходимо в дорожном деле рассматривать два положения — укрепление грунта как дорожной одежды и укрепление грунта как дорожного основания.

Эти две задачи не одинаковые и меры воздействия на грунты должны быть различными.

Последние годы в Ленфилиале ДОРНИ ведутся работы по укреплению физико-химическими методами грунтов как дорожных оснований.

При укреплении грунтов как дорожных оснований возникает необходимость в том, чтобы грунтам придать только некоторую стабильность, чтобы грунты при избытке в них воды не теряли бы минимальной несущей их способности, что имеет место в некоторых природных грунтах при их переувлажнении.

Такое закрепление грунтов, когда изменяются их только некоторые свойства, можно назвать стабилизацией грунтов.

Если грунт в естественном состоянии, когда нет избытка воды, является вполне удовлетворительным, то это удовлетворительное состояние мы стараемся сохранить в наиболее критические моменты—весной и осенью, когда грунт будет перенасыщен влагой.

Из химических методов, применяемых в других видах строительства и наиболее пригодных в дорожном деле, прежде всего обращает на себя внимание силикатирование грунтов.

При проходке шахт, тоннелей в плавунах методом силикатирования получается искусственный камень, имеющий значительную прочность порядка нескольких десятков кг/см².

Такое закаменение грунтов для дорожных оснований является совершенно излишним, ибо никаких напряжений в грунтовых основаниях, измеряемых десятком кг/см², не имеется. Поэтому мы пошли по пути стабилизации грунтов возможно малыми количествами вводимых реагентов, такими количествами, которые бы давали только необходимую величину сохраняемости несущей способности грунтов.

Как указывалось выше, для укрепления грунтов применяется метод силикатирования, введение в грунт жидкого стекла и хлористого кальция.

Однако для дорожного дела эти два реагента не дают удовлетворительных результатов, если применять их в тех дозах, которые могут вынести дорожные строительства с экономической стороны.

Введение этих реагентов в количестве 2—3% от веса грунта не дало стабильности грунтов в отношении воды, они сравнительно быстро разваливались.

Отсюда, естественно, пришлось отказаться от этих реагентов и заменить один из них—хлористый кальций, другим реагентом.

Железистые силикаты и алюмосиликаты являются по отношению к воде более устойчивыми. С другой стороны, железо, как ион, обладает большей коагулирующей способностью, чем ион кальция. Исходя из этого, мы взяли вместо хлористого кальция железный купорос. Давая добавки жидкого стекла и железного купороса к грунтам, мы пробовали в лаборатории сделать их нечувствительными к воде и обеспечить необходимое сопротивление сжатию. Эти лабораторные работы показали, что можно небольшим количеством жидкого стекла и железистого купороса стабилизировать грунт.

Мы брали глину, пылеватый суглинок, пылеватую тяжелую супесь и вводили в них полпроцента жидкого стекла и железистого купороса, оказалось, что эти глины сохраняли водоустойчивость в течение одного месяца и даже значительно больше, они оставались в воде в течение 3—5 месяцев и сохраняли свою форму. Эти образцы в водонасыщенном состоянии дали сопротивление сжатию от 1 до 1,5 кг на 1 см².

Учитывая те напряжения, которые возникают в основных грунтах дорог, мы думаем, что такое сопротивление является

достаточным, чтобы грунт в основании оказался вполне устойчивым и не содействовал бы разрушению дорожного основания.

При дальнейших работах оказалось, что количество вводимых веществ не во все грунты должно быть одинаково, оно должно быть тем больше, чем меньше внутренних ресурсов в грунте для цементации, чем меньше в нем глинистых частиц (таблица 1).

Из таблицы видно, что если мы берем глину, суглинок, то вполне достаточно, чтобы получить сопротивление сжатию, порядка 1 кг на 1 см², ввести железного купороса и жидкого стекла 0,5%, для стабилизации же песка их нужно вводить более 2%.

На основании этих лабораторных работ мы поставили опыты на дорожном пучинистом участке, который имел в основании пылеватый суглинок. В прежние годы меры, предпринятые, к улучшению этого участка—устройство центральных канав, утолщение одежды,—никакого эффекта не дали.

Осенью мы произвели инъектирование жидкого стекла и железного купороса в грунтовое основание участка на протяжении 100 м.

Количество реагентов в первой половине участка было около 0,35% от веса инъектируемого грунта, во второй, примерно, в 2 раза больше.

Наблюдения за поведением этого участка в течение двух лет показали, что никаких пучинистых явлений на нем не было, хотя участок и находился в очень неблагоприятных гидрогеологических условиях.

При инъектировании этого участка мы пробивали кору непосредственно на дороге, избороздили участок выбоинами, примерно, через 1½ м, которые заделали сравнительно плохо (битумирования скважин не было). Грунт на участке весной был насыщен водой и даже находился в перенасыщенном состоянии, но, несмотря на это неблагополучное положение, участок ни одной пучины не имел, а между тем, на соседнем участке имелись пучины, которые от инъектированного участка были на расстоянии 1—1½ м. На следующий год на инъектированном участке никаких пучинных явлений тоже не обнаружено.

Эти опыты показывают, что можно стабилизовать пылеватые грунты путем введения небольших количеств химических веществ.

В дальнейшем, чтобы удешевить стабилизацию грунтов, мы применили несколько другой метод.

Каждому почвоведу известно, что в подзолистых почвах происходит вымывание из верхних элювиальных горизонтов органических и минеральных коллоидов, коллоидов гумусовых, железистых и других, которые несут на себе противоположные заряды. При РН меньше 7, т. е. при наличии кислой реакции железистые коллоиды имеют положительные заряды, органические же — отрицательные.

Встречаясь в таком количестве, что их заряд будет иметь одинаковую величину, на некоторой глубине, они коагулируют друг друга, осаждаются и создают то, что у почвоведов называется ортштейном. Когда этих коллоидов осаждается значительное количество, то ортштейн напоминает камень и его прочность может быть исчислена десятками кг/см² хотя сверху и снизу его бывает иногда легкая супесь или даже песок.

Это природное явление легло в основу дальнейшей работы по стабилизации грунтов.

Торфы содержат в себе значительное количество органических коллоидов и их тем больше, чем выше разложенность торфа.

Вводя в известном количестве эти органические коллоиды в грунт и осаждая их железистыми соединениями, можно получить образование, в некоторой степени напоминающее естественный ортштейн.

При разработке этого вопроса мы вначале вводили торф в виде порошка, так как это дает более или менее удобный метод введения органического вещества при смешении его с грунтом, а затем вводился железный купорос в виде раствора.

Результаты этой работы приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы, торф вводился в количествах 0,25—0,5 проц от веса грунта и, примерно, в таких же количествах добавлялся и железный купорос.

Образцы грунта, обработанные таким образом, сделались совершенно водоустойчивыми, в то время как природные грунты, взятые для работы, размокали в течение нескольких часов. Сопротивление сжатию обработанных образцов в водонасыщенном состоянии было порядка 0,2—0,5 кг/см².

В виду того, что при введении торфяного порошка мы заведомо ухудшали свойства торфа, переводя часть его коллоидов в необратимое состояние, то в дальнейшем вместо порошка брался торф при естественной влажности. Опыты показали, что замена торфяного сухого порошка торфом при естественной влажности делает грунты совершенно водоустойчивыми и обладающими сопротивлением сжатию в водонасыщенном состоянии, в среднем от 0,3 до 0,8 и даже до 1,2 кг. Когда торфа вводили до 0,5 проц, то сопротивление сжатию колебалось от 0,8 до 1,2 кг, т. е. с торфом при естественной влажности сопротивление сжатию увеличивалось, примерно, в два раза, по сравнению с тем, что добавляли сухого торфяного порошка (таблица 3).

Это сопротивление было равно тому, какое имело место в грунтах при введении в них жидкого стекла и железного купороса. Введение последних реагентов показало себя с хорошей стороны и в дорожных опытных участках. Отсюда можно полагать, что и введение в грунт торфа и железного купороса будет достаточным для того, чтобы стабилизировать грунты в наиболее опасный период времени. В дальнейшем мы работы планировали в том направлении, чтобы выяснить, — какие вещества могут быть введены, кроме

железного купороса, и как сам состав будет влиять на результаты стабилизации.

Кроме железного купороса, вводили ряд других солей, хлористый натрий, хлоритный кальций, сернокислый кальций, хлорное железо, хлористое железо и некоторые другие.

Вводя их в грунт, мы получали образцы, которые испытывали на водоустойчивость и сопротивление сжатию.

На основании результатов можно вывести следующее правило: чем выше валентность оснований вводимых солей, тем лучше получаются результаты. Наихудшие результаты получились с солями одновалентными, лучшие с двухвалентными (сернокислый кальций, хлористый кальций и гидрат оксида кальция) и наилучшие с хлорным железом и железным купоросом.

Таким образом на результаты стабилизации влияет состав соли, которая вводится в грунт. Железистые соединения трехвалентные дают при стабилизации дорожных грунтов наилучшие результаты.

Кроме солей, которые вводятся, вполне естественно ожидать, что существенное значение будут иметь и свойства органических коллоидов. В торфе коллоидов будет тем больше, чем больше его разложенность.

Мы поставили ряд опытов для выяснения влияния при сохранении тождества всех других условий степени разложения торфа на стабилизацию грунтов. Оказалось, что с увеличением степени разложенности временное сопротивление сжатию в водонасыщенном состоянии увеличивается. При введении в грунт торфа с малой степенью разложенности (27 проц.) сопротивление сжатию значительно меньше, чем сопротивление сжатию образцов с торфом большей степени разложенности (44 проц.).

Можно полагать, что применение торфа с еще большей разложенностью даст и больший эффект в смысле увеличения сопротивления сжатию.

В дальнейшем были проведены испытания с целью установить, какое влияние оказывает на устойчивость образцов время пребывания их в воде. Проделанные опыты показывают, что сопротивление сжатию с увеличением выдерживания образцов в воде не уменьшается, а в некоторых образцах оно даже становится больше.

В настоящее время нами проведены только лабораторные работы. Необходимо эти работы продолжать в лаборатории в сторону уточнения необходимых добавок.

С другой стороны, необходимо эти лабораторные опыты провести на опытных дорожных участках. Работа по устройству опытных участков должна быть развита возможно скорее, чтобы можно было дать окончательный ответ на то, насколько возможно способами, намеченными лабораторными работами, улучшить дорожные основания.

Таблица 2

Стабилизация глинистого грунта добавками сухого торфа (порошка) и железного купороса

Добавление торфа в %	Добавление железного купороса в %	время выдерживания образцов (в сутках)		Сопротивление сжатию в водонасыщенном состоянии в кг/см ²	Сопротивление сжатию в водонасыщенном состоянии в кг/см ²
		во влаж. камере	в воде		
0	0	10	1,0	0,57	0,3
0,5	0,25	10	1,0	0,75	0,5
0,5	0,5	10	1,0	0,8	0,3
1,0	1,0	10	1,0	0,76	0,32
2,0	2,4	10	1,0	—	0,32

Таблица 1

Наименование грунта	% добавок	Время выдерживания образцов (в сутках)		Сопротивление сжатию в водонасыщенном состоянии в кг/см ²	Время размокания
		во влажной камере	в воде		
Глина	0,0 0,25 0,5 1,0 2,0	0,0 0,3 0,6 1,2 2,4	3 10 10 10 10	0,2 0,57 0,75 0,8 0,76	Размок через 1 сутки. За 10 суток никакого изменения не было. То же То же
Пылеватый суглинок	0,0 0,5 1,0	0,0 0,6 1,2	4 6 30	1,0 1,0	Дал трещину не размокая В течение 30 суток не изменился
Пылеватая тяжелая супесь	0,0 0,5 1,0 2,0	0,0 0,6 1,2 2,4	11 10 10 10	2,85 1,25 1,0	Не изменился в течение 11 суток Не изменился в течение 10 суток То же
Пылеватая легкая супесь	0,0 1,0 1,5	0,0 1,2 1,8	10 10 10	2,5	Образцы размокли в течение 1—5 часов и как водонеустойчивые на сопротивление сжатию не испытывались. От 3 до 5 суток [22 суток] среднее
Тонкий песок	0,0 2,0	0,0 2,4	5 8	1,6	Размок почти моментально

Таблица 3

Стабилизация глинистого грунта добавками сырого торфа и железного купороса

Добавки торфа в %	Добавки железного купороса в %	время выдерживания образцов в сутках		Сопротивление сжатию в водонасыщенном состоянии в кг/см ²
		в сырой камере	в воде	
0	0	10	Размок через 2 часа	Не испытывался как водонеуст.
0,25	0,1	10	10	0,28
0,25	0,25	10	10	0,34
0,25	0,50	10	10	0,37
0,5	0,10	10	10	0,46
0,5	0,25	10	10	0,46
0,5	0,5	10	10	0,80
0,5	1,0	10	10	0,84