

Б. Б. ТЕЛТАЕВ, В. А. ХОМЯКОВ, А. С. ЖАЙСАНБАЕВ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СУЛЬФАТА МАГНИЯ НА ПРОГНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУПЕСИ

Angle of internal friction was experimentally determined of sandy loam with magnesium sulfate content 2–8% when moisture content was 6-18%. Tests were carried out on advanced shift device VSB-25 which was design by Hydroproject. Shift of soil was carried out by consolidated-drained method which is the most close to behaviour of soil basis of a highway.

The result of experiments was determination of an angle of internal friction of salted by magnesium sulfate and non-salted sandy loam. Changing of an angle of internal friction was proved by theoretical calculation of water-salt conditions of sandy loam. Water-salt conditions of sandy loam were estimated by the method of fusibility diagrams.

Ответственными элементами автомобильной дороги являются земляное полотно и дорожная одежда. От их прочности и устойчивости зависит долговечность автомобильной дороги. При расчетах земляного полотна и дорожной одежды используются прочностные показатели грунта – сцепление и угол внутреннего трения, на которое влияет водно-солевой режим грунтового основания автомобильной дороги.

Одним из сложных объектов для строительства инженерных сооружений являются засоленные грунты. Для определения влияния содержания легкорастворимых солей в супеси (тип грунта) нами исследованы его прочностные характеристики.

В этой статье приведены результаты экспериментального определения влияния содержания сульфата магния на угол внутреннего трения супеси. Для получения более широкой информации нами были подготовлены образцы с различным содержанием сульфата магния $C=0\%$, $C=2\%$, $C=5\%$, $C=8\%$ при различной влажности $W=6\%$, $W=12\%$, $W=18\%$.

Опыты проводились на усовершенствованном сдвиговом приборе конструкции Гидропроекта ВСВ-25 (рис. 1).

Сдвиг грунта проводился по консолидировано-дренированной методике, которая наиболее близка к работе грунтового основания, т.е. оно

работает в уплотненном состоянии, а влага имеет возможность свободно перемещаться по основанию. При этом нормальная нагрузка на образец грунта составляла 0,1; 0,2 и 0,3 МПа согласно [1]. Изменение перемещения нижней подвижной обоймы осуществлялось по индикатору часового типа ИЧ-25 с ценой деления основной шкалы 0,01 мм.



*Рис. 1. Усовершенствованный прибор конструкции
Гидропроекта ВСВ-25*

Изменение вертикального перемещения определялось по двум индикаторам часового типа ИЧ-10. Показания изменения горизонтального усилия T фиксировались по индикаторам часового типа ИЧ-10 динамометра сжатия. Для определения изменения горизонтального усилия был использован динамометр ДОСМ-3-1 № 545, по результатам тарировки которого цена деления шкалы составляла 1,5 кг.

Касательное напряжение устанавливалось с учетом силы трения между металлом и грунтом. По полученным данным для каждого опыта были построены графики зависимости изменения абсолютной деформации и касательного напряжения (рис. 2).

Угол внутреннего трения φ находился не менее чем при трех разных значениях нормальных напряжений для получения зависимости $\tau=f(\sigma)$. Сцепление определено по остаточным и пиковым данным зависимости $\tau=f(\Delta)$. Результаты обрабатывались по методу наименьших квадратов (рис. 3).

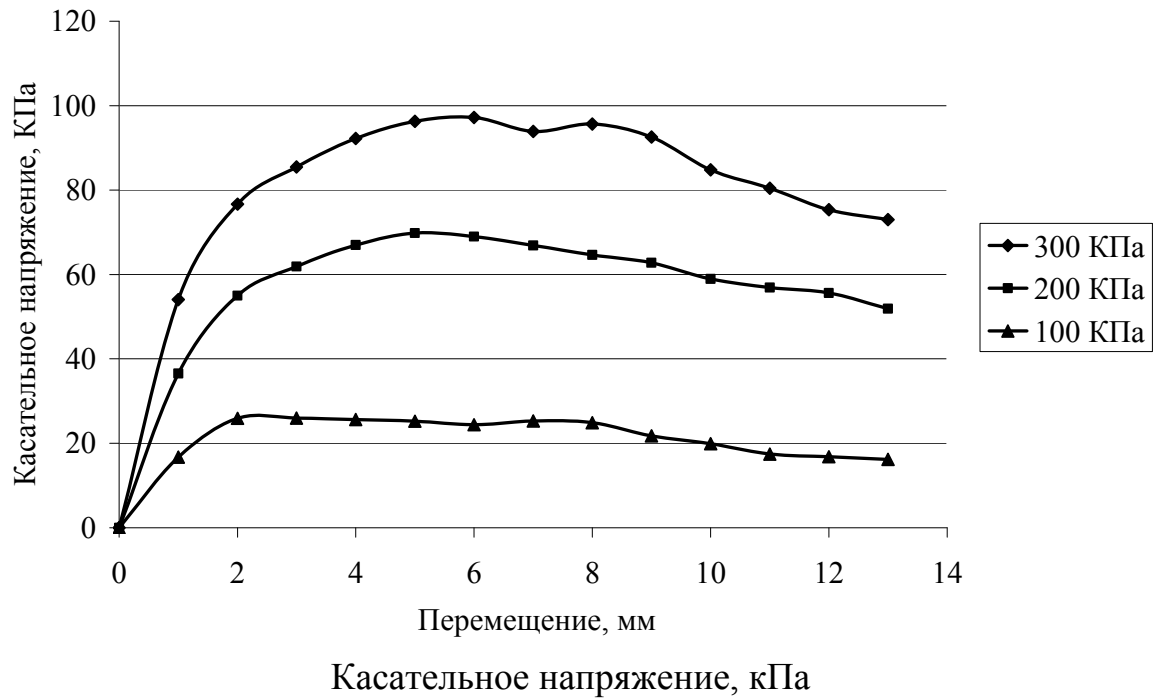


Рис. 2. График зависимости между абсолютной деформацией и касательным напряжением

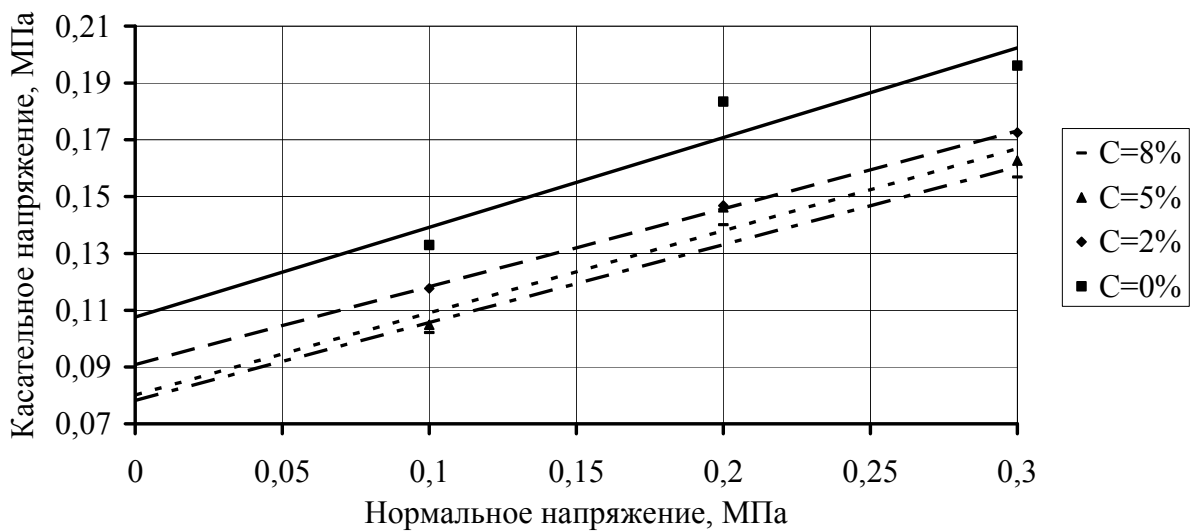


Рис. 3. График зависимости между касательным и нормальным напряжениями

С использованием данных графика зависимости между касательным и нормальным напряжениями при различной влажности были построены графики зависимости угла внутреннего трения от влажности (рис. 4, 5).

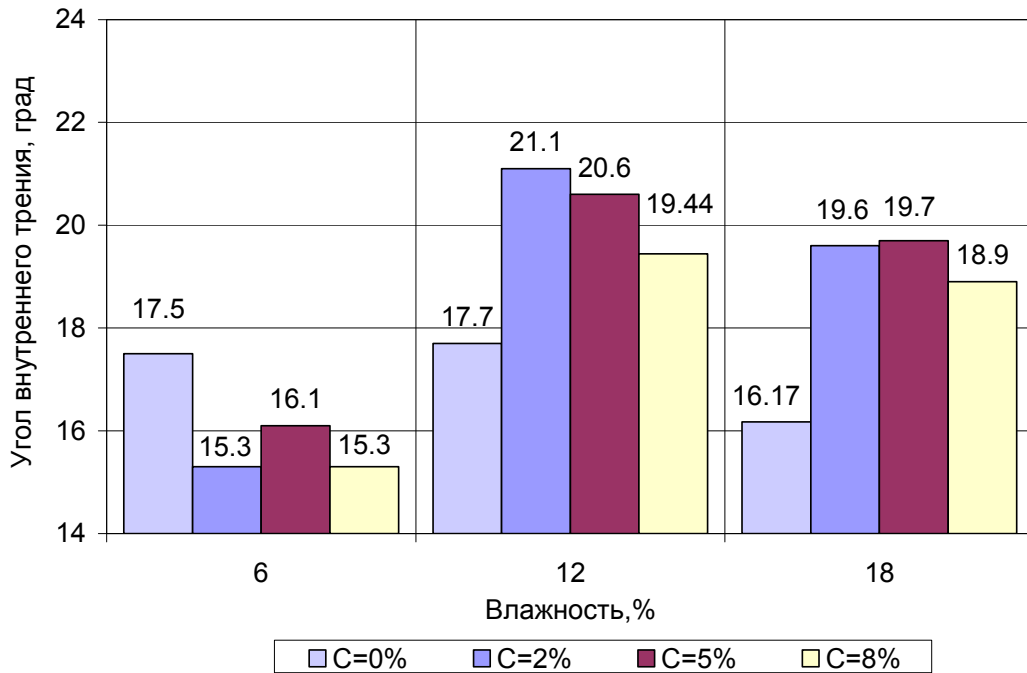


Рис. 4. Зависимость угла внутреннего трения от влажности (пикового)

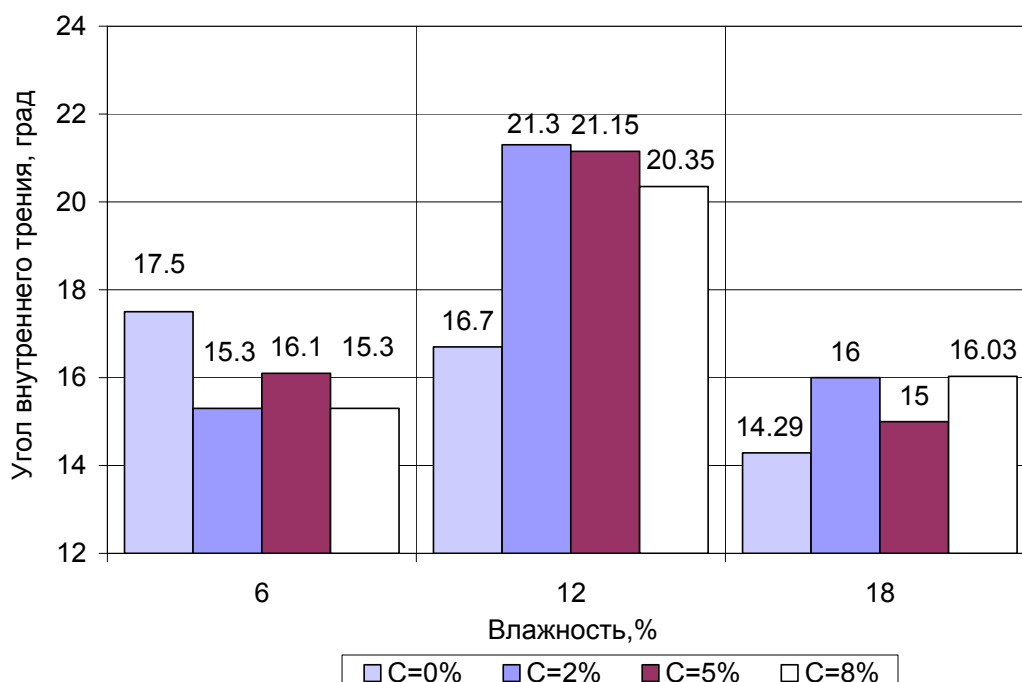


Рис. 5. Зависимость угла внутреннего трения от влажности (остаточного)

После консолидации образцов при влажности $W=6\%$ образцы грунта имели плотность $\rho=1,56-1,6 \text{ г/см}^3$, т.е. находились в недоуплотненном состоянии, а при влажностях $W=12\%$, $W=18\%$ плотность составляла $\rho=1,93-1,96 \text{ г/см}^3$, т.е. были в нормально уплотненном состоянии. На графиках рис. 4 и 5 супесь при влажности $W=6\%$ для пикового и остаточного имеет одинаковые значения угла внутреннего трения и составляет 17,5, 15,3, 16,1, 15,3 град при $C=0\%$, $C=2\%$, $C=5\%$, $C=8\%$ соответственно, т.е. наибольшее изменение угла внутреннего трения равно $\Delta\phi=2,2$ град. Угол внутреннего трения незасоленной супеси при $W=6\%$ больше, чем при содержании сульфата магния. При влажности $W=12\%$, $W=18\%$ графики на рис. 4, 5 имеют одинаковый характер распределения, т.е. с увеличением влажности угол внутреннего трения уменьшается при содержании MgSO_4 $C=0-8\%$. Причем для пикового при влажности $W=12\%$ наибольшее изменение угла внутреннего трения составляет $\Delta\phi=3,4$ град, а при $W=18\%$ – $\Delta\phi=3,53$ град. Для остаточного при влажности $W=12\%$

наибольшее изменение угла внутреннего трения имеет значение $\Delta\varphi=4,6$ град, а при $W=18\%$ – $\Delta\varphi=1,74$ град.

Для объяснения полученных результатов нами определен водно-солевой режим супеси при содержании сульфата магния $C=2-8\%$ и при влажности $W=6-18\%$. Для этого воспользовались методом диаграмм плавкости, предложенным профессором Б. Б. Телтаевым. Этот метод является решением задач двухфазных систем в увязке с диаграммами плавкости двойной и тройной водно-солевых систем [2]. Основной задачей является определение количества содержания конечной влаги и их фазового состава при взаимодействии сульфата магния при разных их концентрациях в грунте с влагой. При расчетах исходными величинами являются количество соли, влажность грунта и температура, которые приняты из экспериментов, т.е. $C=2-8\%$, $W=6-18\%$, $T=20^\circ\text{C}$. Показатели процентного содержания воды и исследуемой соли – сульфата магния увязали с диаграммой плавкости соли. При расчетах рассматривались двухфазные системы с различным процентным содержанием соли в растворе – 2, 5 и 8%. Это дало возможность подробнее проследить влияние засоленности грунтов на водно-солевой режим.

На рис. 6 представлена диаграмма плавкости сульфата магния с расположением на ней рассматриваемых фигуративных точек $6_2, 6_5, 6_8, 12_2, 12_5, 12_8, 18_2, 18_5, 18_8$. Значения 6, 12, 18 соответствуют начальным влажностям $W=6\%$, $W=12\%$, $W=18\%$, а индексы 2, 5, 8 показывают процентное содержание сульфата магния. Место положение точек на диаграмме плавкости определено путем отложения температуры по оси абсцисс и раствора из MgSO_4 и H_2O по оси ординат (см. табл.).

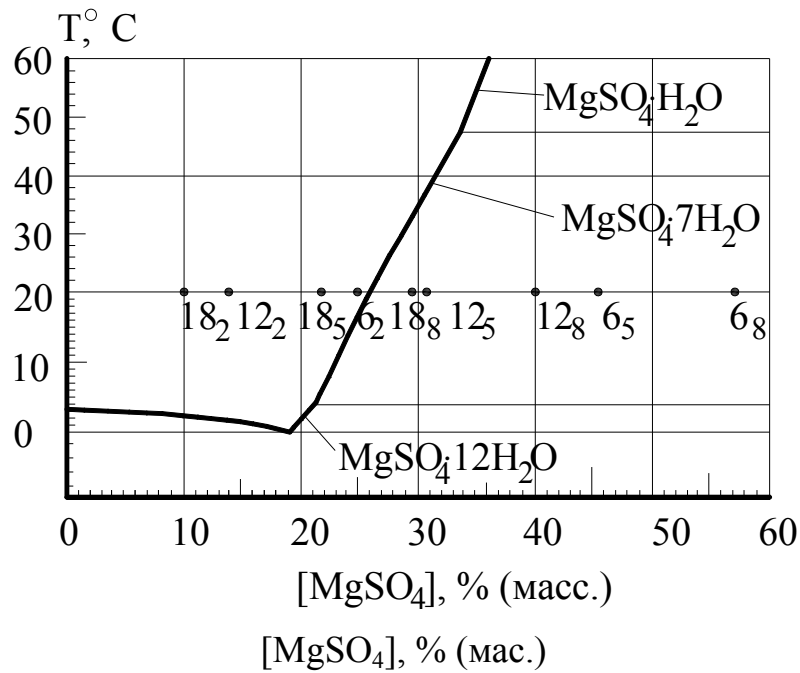


Рис. 6. Диаграмма плавкости $MgSO_4-H_2O$

Результаты определения водно-солевого режима грунтового основания автомобильной дороги при содержании сульфата магния приведены в табл.

Рассмотрим результаты экспериментальных и теоретических исследований засоленных грунтов. При определении прочностных характеристик грунтов с различной влажностью необходимо сравнивать образцы грунта, имеющие одинаковую плотность, что удалось достигнуть при влажностях $W=12\%$ и $W=18\%$ консолидировано-дренированным методом, которая составляет $\rho=1,93-1,96 \text{ г/см}^3$.

Расчет водно-солевого состава в грунтовом основании автомобильной дороги при содержании $MgSO_4 C = 2-8\%$

№ фигуративных точек	Температура $T, ^\circ C$	Начальная влажность $W, \%$	Содержание компонентов в системе, %		Состав системы, %		Кристаллы $MgSO_4, \%$	Конечная влажность $W_k, \%$	Изменение влажности $\Delta W_k, \%$
			$MgSO_4$	H_2O	Раствор	Кристаллы $MgSO_4$			

MgSO ₄ C = 2%									
6	20	6	25,00	75,00	Вещество А + вещество В – жидкое, % состав не меняется, т.е. C=2%, H ₂ O=75%, MgSO ₄ =25% и т.д.			8,00	33,33
12	20	12	14,29	85,71				14,00	16,67
18	20	18	10,00	90,00				20,00	11,11
MgSO ₄ C = 5%									
6	20	6	45,45	54,55	73,71	26,29	2,89	8,11	35,14
12	20	12	29,41	70,59	93,47	6,53	1,11	15,89	32,41
18	20	18	21,74	78,26	Вещество А + вещество В – жидкое, %состав не меняется, т.е. C=5%, H ₂ O=78,26%, MgSO ₄ =21,74%			23,00	27,78
MgSO ₄ C = 8%									
6	20	6	57,14	42,86	57,96	42,04	5,89	8,11	35,25
12	20	12	40,00	60,00	80,95	19,05	3,81	16,19	34,91
18	20	18	30,77	69,23	95,15	4,85	1,26	24,74	37,44

При содержании сульфата магния 2–8% в супеси и при влажности 12 и 18% угол внутреннего трения во всех случаях уменьшается. Это объясняется теоретическим расчетом водно-солевого режима грунта (см. табл.). Из табл. видно, что с увеличением влажности в составе системы кристаллы сульфата магния уменьшаются, а раствор, наоборот, увеличивается. Увеличение раствора приводит к определенному увеличению влажности. Так, при содержании сульфата магния C=2% и влажности W=12% и W=18% состав системы состоит из одной фазы – раствора из H₂O и MgSO₄, а конечная влажность W_к составляет W_к=14% и W_к=20% (см. табл.). За счет роста раствора в грунте угол внутреннего трения уменьшается и равен 21,1 и 19,6 град. При C=5% система состоит из кристалла MgSO₄ и раствора из H₂O и MgSO₄, количество нерастворившегося сульфата магния при W=12% равно 1,11%, а при W=18% сульфат магния полностью растворяется, конечные влажности при этом составляют W_к =15,89%, W_к=23%. Для данной влажности угол внутреннего трения равен 20,6 и 19,7 град. При C=8% количество

нерастворившегося сульфата магния при $W=12\%$ составляет 3,81%, а при $W=18\%$ равно 1,26%, при этом конечная влажность $W_k=16,19\%$ и $W_k=24,74\%$. Угол внутреннего трения при таких влажностях составляет 19,44 и 18,9 град соответственно.

Итак, закономерности изменения угла внутреннего трения супеси при наличии сульфата магния 2–8% и при влажности 6–18% достаточно правильно объясняются закономерностями водно-солевого режима грунта, определяемого методом диаграмм плавкости.

Таким образом, полученные результаты можно использовать при конструировании и расчетах дорожных одежд, устраиваемых на грунтовых основаниях из супесей, содержащих легкорастворимые соли.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Межгосударственный стандарт, 1996. 60 с.

2. *Телтаев Б.Б.* Метод диаграмм плавкости для определения водно-солевого режима грунтовых оснований инженерных сооружений // Мат-лы международной научно-практической конференции «Современные проблемы управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте». Алматы: КазАТК, 1999. С. 144–150.