

Выскребенцев В.С., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

О ПРИМЕНЕНИИ ГРУНТОВЫХ ПОДУШЕК НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ ОСНОВАНИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

vovagjan@mail.ru

Получены результаты опытных уплотнений грунтов на строительных площадках, а также результаты при производстве работ по устройству грунтовых подушек на слабых основаниях инженерных сооружений.

Ключевые слова: просадочный грунт, степень уплотнения, оптимальная влажность, плотность, прочность грунта, толщина отсыпаемого слоя.

Вопрос уплотнения грунтов имеет большое значение при возведении дорожных насыпей и устройстве оснований под инженерные сооружения. Необходимая степень плотности грунтов устанавливается в зависимости от назначения уплотняемых грунтов и передаваемых нагрузок, возможностей изменения температурно-влажностного режима.

Искусственные изменения свойств грунтов, применяемых в строительстве, можно разделить на две основные группы:

1. Улучшение физико-механических свойств грунтов без коренного изменения их физико-механической природы;

2. Коренное изменение физико-химической природы с улучшением из физических свойств.

К первой группе относятся: искусственное уплотнение грунтов и регулирование водного режима грунтов.

Ко второй группе относятся: введение добавок (песчаных, крупнозернистых, глинистых), изменяющих состав твердой фазы грунта, добавок в виде растворимых в воде солей, изменяющих состав жидкой фазы грунта, введение вяжущих материалов (извести, силикат натрия, портландцемента, битумных и дегтевых материалов и т.д.).

Строительные свойства грунтов оценивают по их физико-механическим характеристикам в лабораторных и полевых условиях.

Нескальные грунты залегают в виде несцементированных между собой частиц различной крупности и подразделяются на крупнообломочные, песчаные, глинистые и особые.

К особым грунтам относятся: ил, лессовые, солончаковые грунты, строительные свойства которых оцениваются по специальной программе.

Процесс уплотнения грунта делится на два этапа: разрушение существующей структуры грунта и создание новой, более плотной структуры, устойчивой против влияния различных факторов – нагрузки, изменения температуры, влажности и т.д.

В процессе уплотнения грунта деформация проявляется в двух видах обратимая (упругая) и необратимая (остаточная). В начальный период уплотнения уменьшается расстояние между отдельными частицами грунта. Сжатие происходит за счет перемещения влаги из более напряженных мест в менее напряженные. Грунт уплотняется за счет накопления остаточной деформации при циклических нагрузках или при длительном действии статической нагрузки.

Процесс накопления остаточной деформации, а, следовательно, повышение, степени плотности грунта происходит до определенного предела после передачи на грунт определенной нагрузки. Дальнейшее увеличение нагрузки без изменения режима уплотнения сопровождается в основном обратимыми деформациями и не приводит к повышению плотности грунта.

Уплотняемость грунтов определяют по методике стандартного уплотнения. Согласно этой методике [1, 2] грунт уплотняют трамбованием при различной его влажности в цилиндре прибора диаметром 100 мм и высотой 127 мм в три слоя, обеспечивая по каждому слою 40 ударов груза массой 2,5 кг, сбрасывая с высоты 30 см.

По результатам уплотнения строят график зависимости плотности грунта в сухом состоянии ρ_d от влажности (рис. 1).

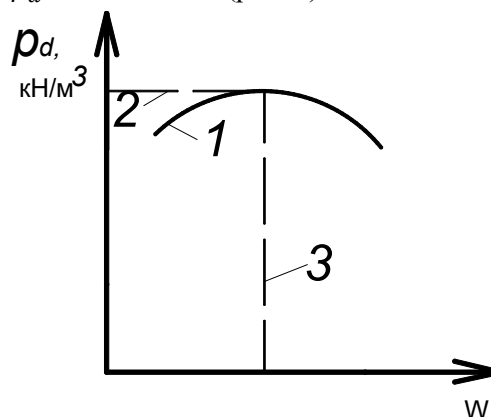


Рис. 1. Зависимость $\rho_d=f(W)$:

1 – кривая стандартного уплотнения;
2 – максимальная плотность; 3 – оптимальная влажность

Уплотняемость грунта характеризуется максимальной плотностью грунта и оптимальной влажностью. Оптимальной влажностью называется влажность, при которой достигается максимальная плотность уплотненного грунта, и при этом требуется наименьшая работа.

Одновременно с повышением плотности грунта понижается уплотняемая поверхность:

$$\Delta h = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_{dyn}}\right) h_{yn} m \quad (1)$$

где ρ_d и ρ_{dyn} – плотность грунта в сухом состоянии до и после его уплотнения, кН/м^3 ; h_{yn} – толщина уплотнённого грунта, м; m – коэффициент, учитывающий расширение грунта в стороны, принимаемый 1...1,2.

В зависимости от назначения сооружений и способа их возведения могут быть использованы грунты, содержащие:

а) водорастворимые соли, если их количество в грунте не превышает 0,3 % по массе;

б) органического вещества (гумус) в количестве, не превышающем 5 % от массы минеральной части.

Количество каменных включений не должно превышать 20 % от общего объема грунта в каждом слое (размер камня не должен превышать 20 см от 0,3 от толщины отсыпаемого слоя).

Прочность, устойчивость сооружений, возводимых на просадочных грунтах, обеспечивается путем устранения просадочных свойств грунтов и достигается:

1) в пределах деформируемой зоны или её

части – уплотнением тяжелыми трамбовками, устройством грунтовых подушек, вытрамбовыванием котлованов, уплотнением взрывами, химическим или термическим закреплением;

2) в пределах всей просадочной толщи – глубинным уплотнением грунтовыми слоями; предварительным замачиванием просадочных грунтов, в том числе с глубинными взрывами; химическим или термическим закреплением.

Если трамбование не обеспечивает уплотнение грунта на необходимую глубину, следует предусмотреть выемку просадочного грунта, устройство грунтовых подушек и их послойное уплотнение.

Плотность скелета грунта ρ_d в пределах уплотненного слоя должна быть не менее величины, при которой просадка грунта исключается, а в грунтовой подушке – от 16,5 до 17 кН/м^3 и более, в зависимости от вида используемого грунта.

Прочность грунта в значительной степени зависит от его плотности, с повышением плотности грунта ее несущая способность увеличивается. Однако несущая способность грунта и его плотность по мере уплотнения грунта увеличивается до определенных пределов, после чего дальнейшая попытка уплотнить грунт может привести к разуплотнению грунта.

На (рис. 2) приведены графики, характеризующие затрачиваемую на уплотнение грунта работу в зависимости от достигаемой плотности скелета грунта при различной толщине уплотняемого слоя (h_1, h_2, h_3).

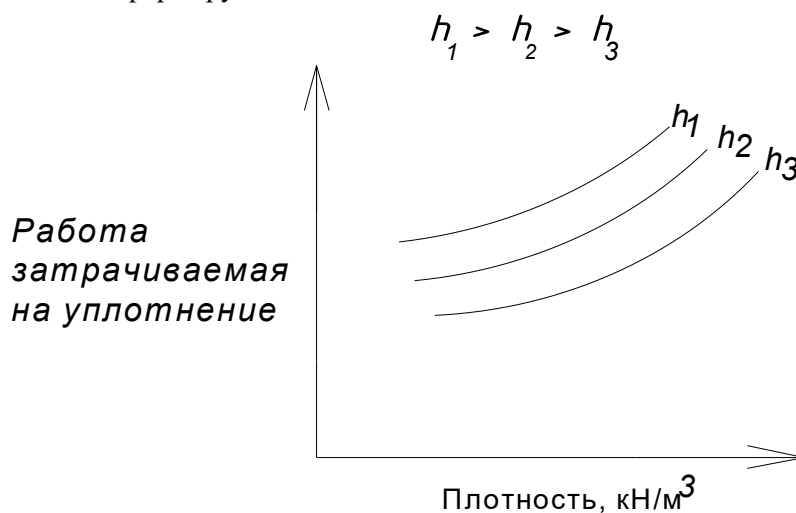


Рис. 2. Зависимость работы, затрачиваемой на уплотнение, от плотности скелета грунта и толщины слоя грунта

Сопоставление кривых показывает, что при каждом последующем увеличении плотности скелета грунта затрачиваемая работа возрастает все в более интенсивной форме и уменьшается с уменьшением толщины уплотняемого слоя.

Необходимые значения степени уплотнения грунтов в обратных засыпках котлованов и подсыпок под полы первого этажа в сооружениях назначается по (табл. 1).

Таблица 1

Необходимая степень уплотнения в обратных засыпках котлована

Вид грунта	Нагрузка на поверхность грунт Р, МПа											
	Р = 0				Р = 0,05...0,2				Р > 0,2			
	коэффициент $K_{уп}$ при общей толщине засыпки, м											
	до 2,0	2...4	4...6	> 6	до 2,0	2...4	4...6	> 6	до 2,0	2...4	4...6	> 6
Глинистый	0,92	0,93	0,94	0,95	0,94	0,95	0,96	0,97	0,95	0,96	0,97	0,98
Песчаный	0,91	0,92	0,93	0,94	0,93	0,94	0,95	0,96	0,94	0,95	0,96	0,97

Окончательное решение принимает проектная организация на основании исследований свойств грунтов.

Из практических опытов установлено, что отклонение плотности скелета грунта от проек-

ной не должно превышать $0,06 \text{ г/см}^3$ в 20 % отобранных проб.

Отклонение влажности грунта от оптимальной не должно превышать приведенных в (табл. 2).

Таблица 2

Допустимые отклонения влажности грунта

Коэффициент уплотнения	Допускаемые отклонения влажности грунта (\pm) от оптимальной	
	глинистого	песчаного
0,98...0,97	0,03	0,06
0,96...0,95	0,04	0,18
0,94...0,92	0,05	0,10
0,91	0,07	0,14

Плотность скелета грунта [3...5] должна быть не менее получаемой по компрессионной кривой при нагрузках, соответствующих массе вышерасположенной части сооружения.

При возведении сооружения III и IV класса капитальности, плотность скелета глинистого грунта, может быть определена по формуле:

$$\rho_d = \frac{[\gamma_s V(1-V)]}{(\gamma_w + \gamma_s W_o)}, \quad (2)$$

где ρ_d – плотность скелета грунта, до которой следует производить уплотнение, кН/м^3 ; γ_s – удельный вес частиц грунта, кН/м^3 ; γ_w – удельный вес воды, кН/м^3 ; V – объем заземленного воздуха в долях единицы, равной $0,04...0,06$; W_o – оптимальная влажность грунта

в долях единицы, принимаемой на $0,01...0,04$ ниже границы раскатывания.

В настоящее время широкий размах получил комбинированный метод, который заключается в одновременной передаче на грунт с целью его более эффективного уплотнения различных механических воздействий, вместо раздельной (пооперационной) технологии земляных работ предусматриваются уплотняющие строительные процессы, путем их совмещения с уплотнением грунтов.

Влажность грунтов (табл. 3), уплотняемых катками на пневматических шинах по отношению к оптимальному значению, определенному по ГОСТ 22733-2002 [6] не должна выходить за пределы.

Таблица 3

Влажность грунта при требуемом коэффициенте уплотнения

Вид грунта	Влажность при требуемом коэффициенте уплотнения		
	1...0,98	0,95	0,9
Супеси легкие и пылеватые	0,8...1,25	0,75...1,35	0,7...1,6
Супеси тяжелые пылеватые и суглинки легкие и легкие пылеватые	0,85...1,15	0,8...1,2	0,75...1,4
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые	0,95...1,05	0,9...1,1	0,85...1,2

При влажности менее оптимальной следует увеличивать число проходов катка, а при влажности менее допустимых значений в таблице, увлажняют грунт.

Контроль плотности следует производить на глубине, равной $1/3$ толщины уплотняемого слоя, но не менее 8 см.

Плотность и влажность грунта следует определять по ГОСТ 5180-84 [7]. Для текущего контроля допускается использовать ускоренные

и полевые экспресс-методы.

Отклонение от требуемого значения коэффициента уплотнения в сторону уменьшения допускается не более чем в 10 % при определении от их общего числа и не более чем на 0,04.

На основании многочисленных полевых и лабораторных испытаний были определены величины отсыпаемых слоев при различных значениях коэффициентов стандартного уплотнения, в зависимости от требуемой толщины

уплотняемого слоя грунта. Испытания выполнялись для различных видов грунта, начиная с песчаного, и кончая глинами. Как уже отмечалось выше, коэффициент стандартного уплотнения выбирается в зависимости от категории дороги и требуемой плотности грунта в основании инженерных сооружений. В (табл. 4) предлагаются значения толщины отсыпаемого слоя грунта оптимальной влажности при различных ко-

эффициентах стандартного уплотнения.

Эти данные можно использовать при составлении проектов производства работ, с целью определения объемов завозимых грунтов и толщины отсыпаемых слоев. Следует также учесть, что при таком в качественном отношении уплотнении достигается требуемая плотность, повышается надежность основания инженерных сооружений.

Таблица 4

Толщина отсыпаемого слоя грунта оптимальной влажности при различных коэффициентах стандартного уплотнения

Вид грунта	Толщина уплотняемого слоя грунта, см	Толщина отсыпаемого слоя, при коэффициенте стандартного уплотнения			
		0,98...0,97	0,96...0,95	0,94...0,93	0,92...0,91
Песчаный	40	60	55	50	45
	60	80	75	70	65
	80	105	100	95	90
	100	130	125	120	115
Супесь	40	60	55	50	45
	60	85	80	75	70
	80	115	110	105	100
	100	140	135	130	125
Суглинок лессовидный	40	65	60	55	50
	60	80	75	70	65
	80	130	125	120	115
	100	165	160	155	150
Суглинок	40	60	55	50	45
	60	80	75	70	65
	80	105	100	95	90
	100	125	120	115	110
Глина	40	60	55	50	45
	60	85	80	75	70
	80	115	110	105	100
	100	140	135	130	125

Для уточнения числа проходов (ударов) грунтоуплотняющих машин по грунту, плотность грунта в сухом состоянии и оптимальной его влажности и времени уплотнения, необходимо выполнять опытные уплотнения грунта непосредственно на строительной площадке.

С целью определения отметки поверхности в грунт забивают металлические штыри. Уплотнение ведется до момента, когда понижение головок (полосок) штырей по данным нивелирования от последнего прохода (удара) будет оставаться практически неизменным, т.е. до получения отказа.

В (табл. 5) предлагаются ориентировочные значения числа проходов грунтоуплотняющих механизированных средств.

После окончания опытного уплотнения грунта отрывают контрольный шурф, из которого через каждые 25...50 см по глубине (но обязательно в каждом слое) отбирают пробы грунта.

Опытные уплотнения связного грунта следует проводить при следующих значениях его влажности:

$W_1=W_p$; $W_2=W_p-0,02$; $W_3=W_p+0,02$; $W_4=W_p-0,04$; где W_p – влажность на границе раскатывания.

В несвязных грунтах:

$W_1=W$; $W_2=W+0,01$; $W_3=W-0,01$; $W_4=W-0,02$; где W – влажность соответствующая 0,06...0,08.

Если влажность меньше оптимальной на 0,03...0,04, необходимо предусмотреть увеличение числа проходов (ударов) уплотняющих машин (до 25 %) с одновременным уменьшением толщины уплотняемого слоя на 40 % по сравнению с рекомендуемым.

Грунт надо уплотнять сразу после его отсыпки. Отсыпку грунта производят на предварительно подготовленную поверхность горизонтальными слоями или с уклоном не более 0,005 в сторону отвода воды. Ширина отсыпки должна быть на 0,3...0,5 м больше в каждую сторону от проектного очертания.

Для предотвращения обрушения грунта в откосной части насыпи и сползания катка под откос, первые два прохода делают на расстоянии не менее 1,5 м от бровки откоса, а затем, смещая каждый проход катка в сторону бровки откоса примерно на 0,5 м, укатывают края насыпи.

После уплотнения откосной части насыпи укатку следует продолжить круговыми проходами от краев к середине насыпи. Давление в шинах катков не должно превышать при уплотнении песков 0,2 МПа, супеси – 0,4 МПа, суглинков и глин – 0,6 МПа.

Таблица 5

Число проходов (ударов) грунтоуплотняющих механизированных средств при различных коэффициентах стандартного уплотнения

Уплотняющие механизированные средства	Вид уплотняемого грунта	Толщины уплотняемого слоя, см	Число проходов (ударов) для достижения коэффициента стандартного уплотнения			
			0,98...0,97	0,96...0,95	0,94...0,93	0,92...0,91
Трамбующие свободно падающие плиты 1,2...1,6 м, массой 3,5...4,5 т	связный несвязный	120...160 140...180	16	12	8	4
Виброплиты самопередвигающиеся	несвязный	20...60	4	3	2	1
Виброплиты самопередвигающиеся ВУТ-5, ВУТ-4, СВТ-3МП	несвязный	20...40	4	3	2	1
Виброплиты подвесные к крану ВПП-6, ВПП-8, ВПП-13, ВПП-2	связный несвязный	50...80	30	25	20	15
Вибротрамбовка подвесная к крану или экскаватору ВВТ-3	связный несвязный	60 80	30	25	20	15

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по определению несущей способности подушек из различного материала на объектах строительства в Тур. ССР. Госстрой ТССР, Ашхабад, 1979. 20 с.

2. Куликов Г. В. Совершенствование методов строительства сооружений на просадочных грунтах Тур. ССР. Туркменское РП «СИ». Ашхабад, 1984. 48 с.

3. Куликов Г.В., Герасименко В.Г. Уплотнение искусственных оснований инженерных сооружений на слабых грунтах механическими методами. АДИ ДонГТУ, Горловка, 2001. 89 с.

4. Неклюдов М.К. Механизация уплотнения грунтов. М.: Стройиздат, 1985. 85 с.

5. Носов В.П., Гнездилова С.А. Учёт влияния региональных природных особенностей на расчётные характеристики грунтов при проектировании дорожных одежд // Вестник БГТУ им. Шухова. 2010. №1. С. 18-21.

6. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. 22 с.

7. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2005. 19 с.

Vyskrebentsev V.S.

ABOUT APPLICATION OF SOIL BEDDING ON SOFT SOIL OF BASES OF ENGINEERING STRUCTURES

The results of the experimental compaction of the soils on the building area and the results of the work execution of the installation of soil bedding on the soft soil of engineering structure were obtained.

Key words: collapsible soil, compaction degree, optimal moisture, density, soil strength, thickness of filled in layer.