

УДК 624.13.001.5

А.О. Афиногенов

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

При возведении земляных сооружений (дорожных насыпей, дамб, грунтовых плотин и др.) используемые грунты подвергаются различным строительно-технологическим, физико-техническим воздействиям и существенно меняют свои свойства. В особенности, это относится к глинистым грунтам, широко распространенным в Западной Сибири. Процессы извлечения грунта из природного массива, его перемешивания, уплотнения, увлажнения и высыхания (как в процессе строительства, так и при эксплуатации сооружения) фактически создают новый материал - техногенный грунт. Это означает, что не всегда материалы инженерно-геологических изысканий дают исчерпывающее представление о свойствах грунтов, необходимы исследования на реальных объектах и в лабораторных условиях.

Анализ научных работ и нормативных документов в этой области показывает, что исследование строительно-технологических свойств грунтов должно базироваться на следующих предпосылках:

- глинистые грунты обладают ярко выраженным региональными особенностями [1], существенно влияющими на их строительные свойства;
- для практических целей наиболее важным является исследование влияния степени уплотнения и влажности грунта;
- изученность свойств грунтов и достоверность их характеристик, принимаемых для проектирования сооружений, существенно ниже используемых методов расчета и не отвечают современным требованиям.

Учет региональных особенностей грунтов возможен на основе более дифференцированного районирования территорий. Так, при проектировании автомобильных дорог, вся территория бывшего

СССР делилась на 5 дорожно-климатических зон. В итоге характеристики грунтов земляного полотна дорог в условиях г. Кемерово, например, принимались такими же, как и для Кишинева, Воронежа. Понятно, что такое усреднение приводит к значительным ошибкам. В последние годы в Томском государственном архитектурно-строительном университете (ТГАСУ) выполнены специальные исследования и предложено более детальное районирование территории Западной Сибири, позволяющее учитывать региональные особенности грунтов.

Используя детальное районирование территории Кемеровской области, получены значения строительно-технологических свойств техногенных глинистых грунтов для отдельных климатических районов [2, 3]. При этом применялся метод статистического анализа результатов контроля качества работ и данных автора на наиболее важных объектах строительства дорог. Установлено следующее:

- строительно-технологические свойства грунтов существенно различаются по климатическим районам, применение значений, усредненных по территории Кемеровской области, может привести к недопустимым погрешностям;
- имеется устойчивая обратная связь между увлажненностью грунта и коэффициентом его уплотнения, достигаемым в процессе строительных работ. Такой же характер имеет и зависимость «фактическая влажность грунта - коэффициент уплотнения грунта»;
- оптимальная влажность грунтов (по ГОСТ 22733-2002) зависит от естественной влажности (чем больше естественная влажность грунта, тем выше значение его оптимальной влажности);
- на коэффициент уплотнения незначительно влияет величина максимальной плотности грунта и его оптимальной влажности.

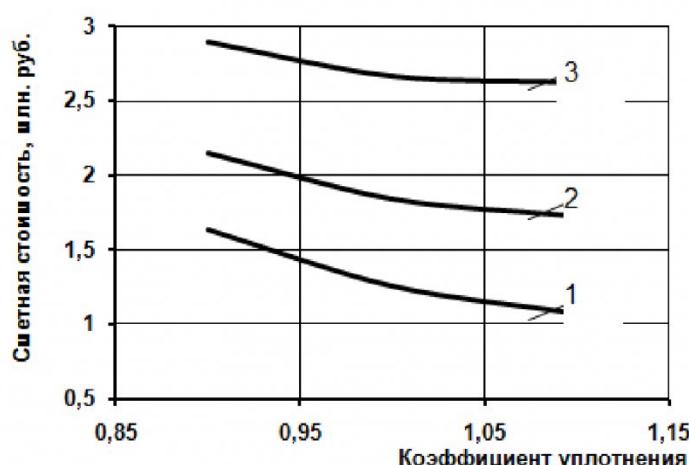


Рис. 1. Зависимость стоимости конструкции от величины коэффициента уплотнения: 1 – проектная приведенная толщина дорожной одежды $H_{\text{до}} = 0,4 \text{ м}$; 2 – $H_{\text{до}} = 0,6 \text{ м}$; 3 – $H_{\text{до}} = 0,8 \text{ м}$

В результате выполненных исследований установлены усредненные (типичные) характеристики грунтов для каждого климатического района [4]. Использование грунта с такими показателями позволяет получить необходимые для проектирования строительно-технологические характеристики при помощи лабораторных исследований.

Как упоминалось выше, исследование влияния степени уплотнения и влажности грунта на его строительно-технологические свойства в практическом отношении наиболее интересно. Специальные исследования показали, что повышенное уплотнение грунта благоприятно оказывается на работоспособности сооружения, экономически эффективно. Например, в работе [5] приведены результаты исследований по оценке эффективности повышенного уплотнения земляного полотна технологических автомобильных дорог горнодобывающих предприятий. На рис. 1 показано влияние степени уплотнения глинистого грунта на стоимость до-

рожной одежды. Максимальных эффект достигается для дорожных одежд небольшой толщины.

Как известно, для решения задач проектирования дорожных одежд и ряда других объектов необходимо знать величину модуля упругости грунта, которая, в свою очередь, зависит от степени уплотнения. Исследования различных авторов (В.М. Сиденко, О.Т. Батраков и др.) показывают, что эти зависимости имеют региональный характер и могут быть получены только экспериментальным путем. Поскольку для условий Кузбасса соответствующих данных нет, были проведены специальные исследования по определению статического модуля упругости грунта для различных сочетаний его влажности и степени уплотнения по климатическим районам области [6].

Испытания выполнялись по методике, регламентированной ВСН 46-83. Показатели грунта, типичного для района III.P.3 (суглинок тяжелый пылеватый), приведены в табл. 1. Они соответствуют

Таблица 1. Показатели грунта, типичного для климатического района III.P.3

Физико-механические показатели грунта	Значение
1. Содержание зерен 2-0,5 мм, % по массе	3,55
2. Влажность на границе раскатывания, % по массе	20,56
3. Влажность на границе текучести, % по массе	32,43
4. Число пластичности	12
5. Оптимальная влажность грунта, W_{opt} , % по массе	19,03
6. Максимальная плотность скелета грунта, $\text{г}/\text{см}^3$	1,73

Таблица 2. Уровни варьирования факторов

Уровни варьирования	Параметры, X_i	
	влажность грунта W , % по массе	коэффициент уплотнения K
	Обозначение в кодированном виде	
	X_1	X_2
Верхний, x_{i6}	20	1,05
Нижний, x_{i1}	16	0,95
Средний, x_{i0}	18	1,00
Шаг варьирования, Δx_i	2	0,05

Таблица 3. Матрица планирования эксперимента и результаты испытаний

№ опыта	Факторы			Среднее значение функции отклика E_y , МПа, для районов	
	X_0	X_1	X_2	II.G.2	III.P.3
1	+1	-1	-1	46,65	42,17
2	+1	-1	0	78,84	64,26
3	+1	-1	+1	90,70	77,48
4	+1	0	-1	35,40	24,3
5	+1	0	0	69,52	42,61
6	+1	0	+1	83,09	57,99
7	+1	+1	-1	22,37	16,13
8	+1	+1	0	55,42	33,74
9	+1	+1	+1	70,52	44,55

средним значениям, полученным в результате статистического анализа [2, 4].

Испытания выполнены в соответствии с ортогональным планом второго порядка. Планирование эксперимента позволяет получить достоверные результаты с минимальными затратами. Уровни варьирования факторов показаны в табл. 2.

Грунты отбирались из земляного полотна

строительства автомобильных дорог, в процессе их транспортирования и хранения обеспечивалось исключение длительного контакта с воздушной средой, высыхание. Пробы хранились в темном помещении, в герметично закрытой таре.

Предварительно был выполнен эксперимент по обеспечению заданных свойств грунта (влажность, коэффициент уплотнения). На основании априор-

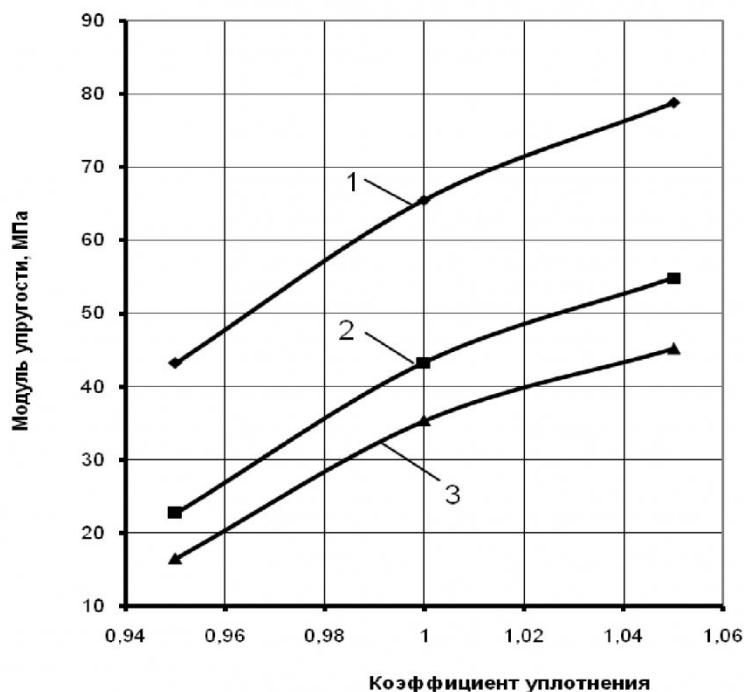


Рис. 2. Зависимость модуля упругости от коэффициента уплотнения грунта:
1 - $W = 16\%$; 2 - $W = 18\%$; 3 - $W = 20\%$

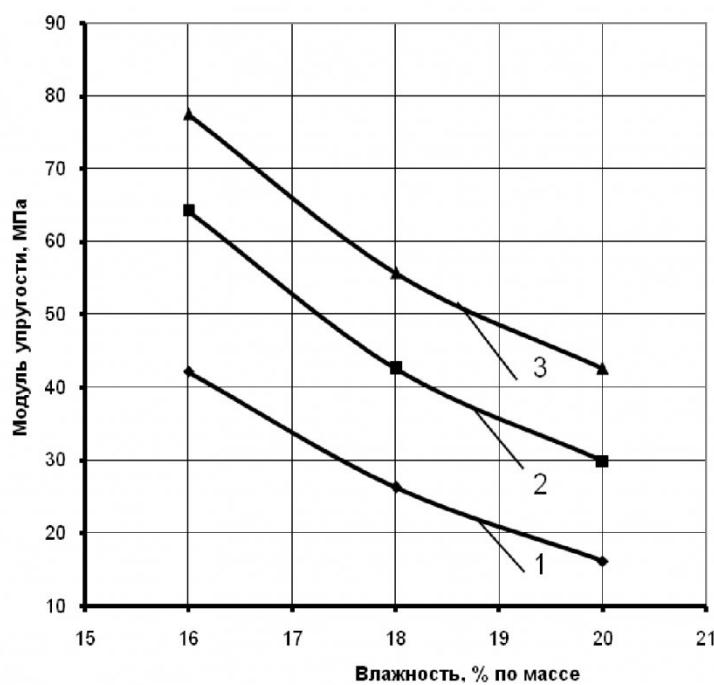


Рис. 3. Зависимость модуля упругости от влажности грунта:
1 - $K_u = 0.95$; 2 - $K_u = 1.0$; 3 - $K_u = 1.05$

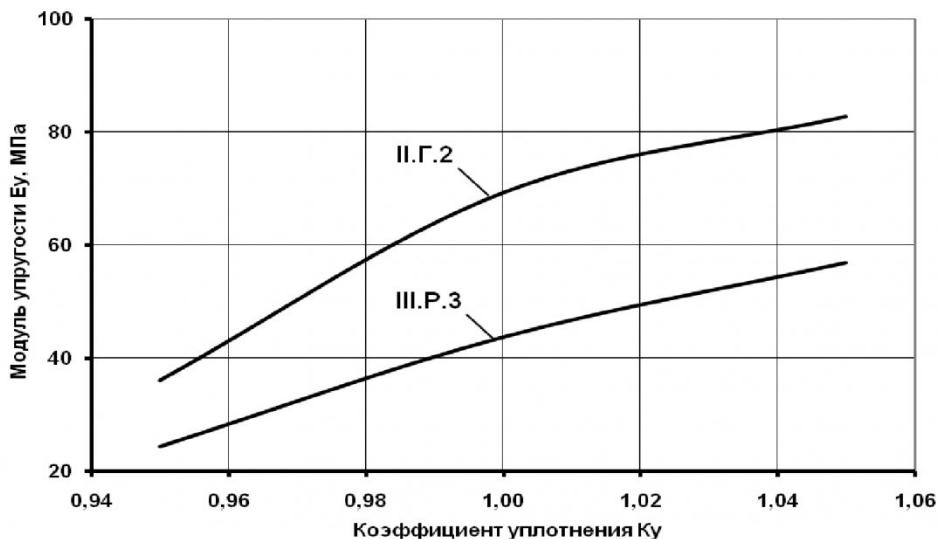


Рис. 4. Зависимость модуля упругости грунта от степени уплотнения

ной информации применяли планы второго порядка. Для дорожно-климатического района II.Г.2

$$E_y = 8085,5K + 5.78W - 0.4725W^2 - 3928^2 + 10.3KW - 4208.19,$$

что существенно отличается от района III.Р.3 (рис. 4):

$$E_y = 3114K - 33.1W + 1.19W^2 - 1240K^2 - 17.2KW - 1310.87.$$

Рекомендуемые зависимости справедливы только в пределах варьирования параметров, использованных в эксперименте. Несмотря на то, что они не имеют физического смысла, для практических целей вполне пригодны и статистически достоверны. Отметим также значительное влияние, как влажности, так и коэффициента уплотнения грунта на его деформативные свойства (рис. 2, 3).

Анализ зависимостей модуля упругости от

влажности и степени уплотнения в нераскодированном виде показывает, что для климатического района II.Г.2 влияние коэффициента уплотнения (фактор X_2) много больше влияния влажности (фактор X_1), для района III.Р.3 влияние коэффициента уплотнения и влажности примерно одинаковое. На рис. 4 показана зависимость модуля упругости грунтов районов II.Г.2 и III.Р.3 от степени их уплотнения при влажности 18%, что дает возможность сравнить результаты.

Соответственно, по известным методикам можно подсчитать значения динамического модуля упругости, определить его расчетные величины.

Результаты данного исследования позволяют более обоснованно назначать меры по обеспечению требуемой степени уплотнения глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог и аналогичных сооружений, проектировать соответствующую технологию работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимов, В.Т. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский, Г.А. Голодковская, Ю.К. Васильчук, Р.С. Зиангиров. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
2. Афиногенов А.О. К вопросу назначения строительно-технологических свойств глинистых грунтов// Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2009. – № 4. – С. 82-86.
3. Афиногенов А.О. К вопросу проектирования технологии уплотнения глинистых грунтов // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2009. – № 3. – С. 124-128.
4. Афиногенов А.О. Анализ технологических свойств глинистых грунтов юга Кузбасса // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2009. – № 3. – С. 121-124.
5. Афиногенов А.О. Эффективность повышения степени уплотнения грунтов земляного полотна карьерных автомобильных дорог // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2008. – № 1. – С. 55-60.
6. Ефименко, В.Н. Дорожно-климатическое районирование Кемеровской области // Опыт обеспечения эффективности дорожного комплекса Кузбасса: Сб. науч. тр. –Изд-во Томск. ун-та, 1997. – С. 62-66.

□Автор статьи:

Афиногенов
Алексей Олегович
- соискатель каф. автомобиль-
ных дорог КузГТУ,
Email: afinogenov@smtp.ru