

Определение модуля деформации грунтовых подушек с геосинтетическими армированиями на замоченных просадочных основаниях

¹***НЯМДОРЖ Сетев**, PhD, профессор, nyamdorj@must.edu.mn,

¹**ДАШЖАМЦ Далайн**, д.т.н., профессор, ddashjamts@must.edu.mn,

¹**ОДОНТУЯА Нямдорж**, аспирант, преподаватель, odnoo@stda.edu.mn,

¹Монгольский университет науки и технологии, Монголия, 14191, Улан-Батор, ул. Бага тойруу, 34,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Неогенные рыхлые отложения четвертичного возраста, распространенные на территории Монголии, часто используются в качестве основания зданий и инженерных сооружений. Многие из них классифицируются как лёссовидные просадочные грунты преимущественно I типа по просадочности. С целью повышения их строительных свойств на опытной площадке проведены штамповые испытания по определению модуля деформации высокоуплотненных грунтовых подушек для малонагруженных фундаментов мелкого заложения с учетом региональных особенностей грунтовых условий Монголии. По данным штамповых испытаний определены численные значения модуля деформации армированных и неармированных грунтовых подушек из разных грунтовых материалов с учетом их влажности и плотности. Грунтовые подушки устроены на предварительно замоченном просадочном основании из щебеночно-песчаной смеси и местного супесчаного грунта с армированием из плоской георешетки и геоткани. Проведен сравнительный анализ численных значений штампового модуля деформации в зависимости варьируемых факторов моделирования грунтовых подушек. По результатам испытаний установлено, что численные значения модуля деформации грунтовых подушек в зависимости от влажностного режима грунтов основания, типа грунтовых материалов подушки и геосинтетических материалов для армирования могут быть улучшены.

Ключевые слова: лёссовидные грунты, техногенное замачивание, несущая способность, просадка, геосинтетическое армирование, послойное уплотнение, штамповое испытание.

Введение

В последние годы в мире активно ведутся экспериментально-теоретические исследования по усовершенствованию традиционных решений грунтовых подушек в направлении применения геосинтетических материалов для горизонтальных и вертикальных армирований. Неогенные рыхлые отложения четвертичного возраста, распространенные на территории Монголии, часто используются в качестве основания зданий и инженерных сооружений, большинство которых классифицируются как лёссовидные просадочные грунты преимущественно I типа по просадочности. Повышение их строительных свойств по методу применения рациональных инновационных решений армированных грунтовых подушек для малонагруженных фундаментов мелкого заложения с учётом региональной особенности грунтов основания является важной задачей строительства в соответствующих грунтовых условиях Монголии [1]. В обычных грунтовых условиях сметная стоимость устройства основания и фундамента

занимает 13-15% от общей сметной стоимости здания, а для зданий, возведенных в сложных грунтовых условиях, в том числе в просадочных грунтах Монголии, доходит до 30%. Исходя из этих положений, вопросы снижения расходов материально-технических и трудовых ресурсов являются важной задачей. Для решения этих проблем используют разные методы применения свайных и других фундаментов, а также подготовки искусственных оснований. В том числе – метод грунтовых подушек без армирования и с геосинтетическими армированиями в горизонтальных и вертикальных положениях и из разных грунтовых материалов.

Изучение вопроса использования армированных грунтовых конструкций

Высокоуплотненные грунтовые подушки могут быть надежными и простыми методами, с экономической точки зрения – самыми приемлемыми, не требующими дорогостоящей техники для специальных строительных работ.

С давних пор человечество использует армогрунтовые конструкции для строительства разных зданий и сооружений, из них самыми ранними являются нагорные здания города Дур-Куригацу, Великая Китайская стена и другие. Метод армирования грунта римляне использовали для строительства грунтовой полотины еще до нашей эры [2]. Научные исследования по использованию метода усиления грунтовых сооружений армированием из разных материалов ведутся в США с начала XX века. В 1960 годах французский инженер Анри Видал [3] впервые предложил использовать для армирования грунта металлические ленты, он же является основоположником идеи использования полимерных материалов для армирования разных грунтовых элементов и сооружений.

В работах российских ученых Далматова Б.И., Мангушева Р.А., Пономарева А.Б., Усманова Р.А., Цытовича Н.А. и ученых из других стран – Schwerdt S., Vidal H. [3-10] отражены результаты экспериментально-теоретических исследований по методам расчетов и моделирования, внедрению конструкции армированных и неармированных грунтовых подушек и других грунтовых элементов.

В настоящее время в условиях Монголии не проведена исследовательская работа по внедрению армированных грунтовых конструкций из-за отсутствия нормативных документов [11, 12].

В международной практике грунтовые подушки с геосинтетическим армированием широко применяются с целью:

- уменьшения просадок замоченного просадочного грунта основания;
- увеличения несущей способности и устойчивости основания;
- уменьшения до двух раз глубины заложения малонагруженного фундамента;
- уменьшения взаимного влияния близко расположенных фундаментов и перераспределения напряжения в грунтах ниже подошвы фундамента;
- уменьшения величины сжимаемой толщи водонасыщенного подстилающего грунта основания;
- снижения степени пучинистости замоченного глинистого грунта;
- применения энергосберегающих утепленных фундаментов мелкого заложения.

Опытные исследования

Опытная площадка находится на территории Дарханского филиала Монгольского государственного университета науки и технологии, где распространены:

- ИГЭ-1 – насыпный грунт толщиной 0,3 м;
- ИГЭ-2 – просадочный пылеватый, супесь (vQ_2), I типа по просадочности, толщиной 0,3-6,8 м;
- ИГЭ-3 – гравелистый суглинок ($a-pQ_2$), мощностью 6,8 м.

При бурении скважины до 15,0 м глубины

грунтовая вода не обнаружена. Глубина сезонного промерзания – 3,60 м.

Физико-механические показатели грунтов приведены в таблице 1.

Общий вид опытной площадки показан на рисунке 1.

Оборудование, приборы и процесс испытаний по определению модуля деформации армированных и неармированных грунтовых подушек из разных грунтовых материалов на опытной площадке представлены на рисунках 2-6.



Рисунок 1 – Общий вид опытной площадки

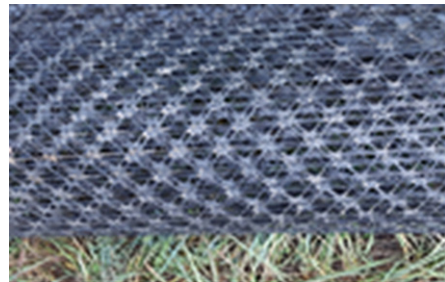


Рисунок 2 – Плоская георешетка и геоткань



Рисунок 3 – Замачивание грунта котлована

Таблица 1 – Физико-механические показатели грунтов					
№	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Пылеватая супесь	Гравелистый суглинок
Физические показатели					
1	Природная влажность	W	д.е.	0,042	0,068
2	Влажность предела текучести	W_L	д.е.	0,207	0,180
3	Влажность предела раскатывания	W_p	д.е.	0,159	0,137
4	Число пластичности	J_p	д.е.	0,048	0,043
5	Плотность скелета	ρ_s	гр/см ³	2,66	2,64
6	Природная плотность	ρ	гр/см ³	1,69	1,98
7	Плотность сухого грунта	ρ_d	гр/см ³	1,54	1,86
8	Пористость	n	д.е.	42,8	29,58
9	Коэффициент пористости	e	д.е.	0,73	0,42
10	Степень влажности	S_r	д.е.	0,32	0,43
11	Показатель консистенции	J_L	д.е.	$< 0 \div 0,86$	< 0
Механические показатели					
1	Сила сцепления	C' C''	кПА	21 7,6	29
2	Угол внутреннего трения	φ' φ''	градус	18 13	25
3	Модуль деформации	E_0 E_{sat}	МПа	12,1 (1,21) 4,6 (0,46)	33 (3,3)
4	Расчетное сопротивление /БНБД 50-01-16/	R_0	кПА	280 (2,8)	350 (3,5)



Рисунок 4 – Послойное уплотнение грунта основания машиной BS 60-2

Учитывая вероятность возможного техногенного замачивания, грунт основания под каждой подушкой столбчатого фундамента принят с размерами подошвы 2,0×2,0 м. Расчетная глубина сезонного промерзания супеси с повышенной влажностью равняется 3,0 м [13, 14]. В программе испытательных работ смоделирована глубина заложения подошвы подушки на 1,50 м. Отметка подошвы фундамента принята 0,7 м, с тем, чтобы запроектировать фундаменты мелкого заложения с утеплением в вертикальном и горизонтальном положениях с учетом региональной особенности климатических условий Монголии, из панели «Термоплекс». Назначенные размеры грунтовых

подушек и армирования из геосинтетических материалов и без армирования показаны на рисунках 7 и 8.

Назначение геометрических размеров и конструирование опытных грунтовых подушек осуществлено на основе методик: Н.А. Цытовича, Б.И. Далматова, Р.А. Мангушева, А.Б. Пономарева, Р.А. Усманова, Д.Г. Золотозубова, В.И. Клевко, В.Г. Офрихтера, Д.А. Татьянникова, Schwerdt S., Bolton M.D., Rawal A., Shah T.H., Anand S.C., Alfaro M.C., Coduto Donald, P. [4-10, 15-21].

После открытия шести опытных котлованов, в течение 7 дней их заливали трубопроводной чистой водой с тем, чтобы смоделировать замочен-



Рисунок 5 – Измерители перемещения и нагрузки



Рисунок 6 – Проведение штамповых испытаний

ное слабое просадочное основание. Общее количество воды для замачивания каждого котлована – около 10 м^3 . В каждом котловане, где предполагались армированные подушки, на границе замоченного грунта основания и подушки раскладывали 1 слой геоткани во избежание сепарационного явления [7, 17].

В процессе подготовки грунтовых подушек произвели послойное уплотнение при W_{opt} с толщиной слоя 20 см. После уплотнения определили в лаборатории плотность ρ и влажность W уплотненных грунтов, показатели отношения SBR, лобовое сопротивление q_{st} , силу сцепления c , угол внутреннего трения φ по динамическому прибору для определения уплотняемости грунтовых материалов подушки «PORTABLE BEARING CAPACITY TESTER. MODEL MIS-244-062. MARUI CO., LTD. OSAKA (JAPAN)».

Результаты измерений горизонтальных перемещений жесткого штампа ($S_{\text{шт}} = 2500 \text{ см}^2$) показаны в таблице 2.

Общий график зависимости $S=f(P)$ по вариантам высокоуплотненных грунтовых подушек показан на рисунке 9.

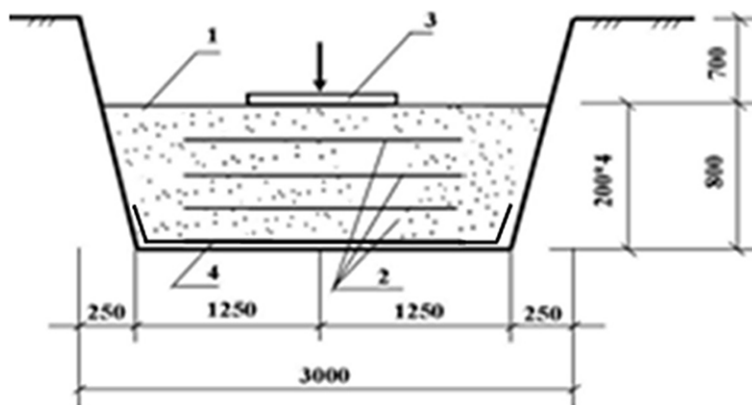
Результаты определения модуля деформации

высокоуплотненных грунтовых подушек по вариантам моделирования приведены в таблице 3.

Модуль деформации E высокоуплотненных грунтовых подушек из смеси щебня и крупных песков, местных супесчаных грунтов с армированием из плоских георешеток и геоткани, или без армирования на замоченных слабых просадочных грунтах основания определили по методу полевых штамповых испытаний с площадью $S_{\text{шт}} = 2500$



Рисунок 7 – Испытание уплотняемости грунта подушки



1 – грунтовая подушка, 3 – жесткий штамп $S_{шт} = 2500 \text{ см}^2$, 2 и 4 – геосинтетическое армирование

Рисунок 8 – Расчетная схема грунтовых подушек без армирования

Таблица 2 – Результаты измерений осадки штампа

№	Вариант	Конструирование грунтовой подушки 3,0×3,0×0,8(h)м	Давление, МПа / $S_{шт} = 2500 \text{ см}^2$				Сумма ΔS , мм
			2,5 тн 1 кг/см²	5 тн 2 кг/см²	7,5 тн 3 кг/см²	10 тн 4 кг/см²	
1	I	Подушка из местных супесчаных грунтов с армированием из 1 слоя геоткани, 3 слоев георешетки	3,21	4,82	8,65	16,572	16,572
			$\Delta S = 3,21$	$\Delta S = 1,62$	$\Delta S = 3,83$	$\Delta S = 7,922$	
2	II	Подушка из местных супесчаных грунтов с армированием из 4 слоев геоткани	3,86	5,38	10,53	21,75	21,75
			$\Delta S = 3,68$	$\Delta S = 1,70$	$\Delta S = 5,15$	$\Delta S = 11,22$	
3	III	Подушка из смеси щебня и крупных песков с армированием из 1 слоя геоткани, 3 слоев георешетки	2,78	3,62	5,16	13,81	13,81
			$\Delta S = 2,78$	$\Delta S = 0,84$	$\Delta S = 1,54$	$\Delta S = 8,65$	
4	IV	Подушка из смеси щебня и крупных песков с армированием из 4 слоев геоткани	3,13	5,11	8,49	17,42	17,42
			$\Delta S = 3,13$	$\Delta S = 1,98$	$\Delta S = 3,38$	$\Delta S = 8,93$	
5	V	Подушка из смеси щебня и крупных песков без армирования	6,21	9,76	19,38	Просадка штампа	19,38
			$\Delta S = 6,21$	$\Delta S = 3,55$	$\Delta S = 9,62$		
6	VI	Подушка из местных супесчаных грунтов без армирования	7,32	11,46	23,71	Просадка штампа	23,71
			$\Delta S = 7,32$	$\Delta S = 4,14$	$\Delta S = 12,25$		

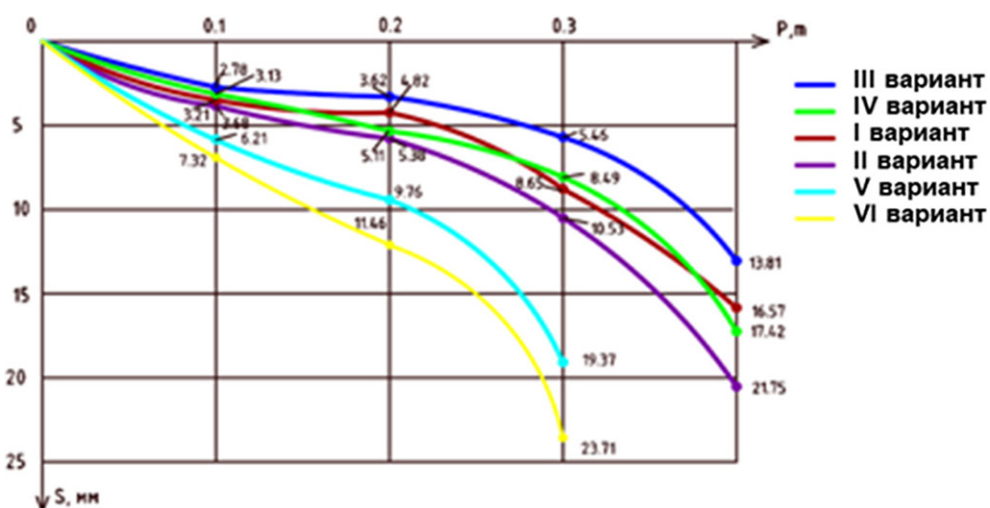


Рисунок 9 – Общий график зависимости $S = f(P)$ по вариантам высокоуплотненных грунтовых подушек

Таблица 3 – Обобщенные результаты штамповых испытаний по определению модуля деформации E и других испытаний

№	Вариант	Штамповые испытания	Результаты испытаний динамического плотномера				Испытания режущими кольцами		
		<i>E</i> , МПа	<i>CBR</i>	<i>q_s</i>	<i>c</i>	<i>φ</i>	<i>ρ</i>	<i>W</i>	<i>S_r</i>
А. Грунтовые подушки из местных супесчаных грунтов									
1	VI вариант: без армирования	9,32	15,9	1252,3	92,2	27,4	1,98	0,144	0,65
2	II вариант: с армированием из 4 слоев геоткани	12,35	22,84	1989,2	122,7	31,9	2,09	0,132	0,60
3	I вариант: с армированием из 1 слоя геоткани, 3 слоев георешеток	14,71	23,3	1826,5	124,9	32,2	2,03	0,136	0,61
В. Грунтовые подушки из смеси щебня и крупных песков									
1	V вариант: без армирования	11,31	22,6	1759,4	121	31,7	2,06	0,146	0,66
2	IV вариант: с армированием из 4 слоев геоткани	15,28	26,1	1990,6	134,2	33,5	2,08	0,146	0,66
3	III вариант: с армированием из 1 слоя геоткани, 3 слоев георешеток	33,27	26,2	2047,2	137,4	33,9	1,97	0,140	0,63
С. Грунтовые подушки с армированием из плоских георешеток									
1	VI вариант: без армирования из местных супесчаных грунтов	9,32	15,9	1252,3	92,2	27,4	1,98	0,144	0,65
2	V вариант: без армирования из смеси щебня и крупных песков	11,31	22,6	1759,4	121,0	31,7	2,06	0,146	0,66
3	I вариант: с армированием из 1 слоя геоткани, 3 слоев георешеток из местных супесчаных грунтов	14,71	23,3	1826,5	124,9	32,2	2,03	0,136	0,61
4	III вариант: с армированием из 1 слоя геоткани, 3 слоев георешеток из смеси щебня и крупных песков	33,27	26,2	2047,2	137,4	33,9	1,97	0,140	0,63
D. Грунтовые подушки с армированием из геоткани									
1	VI вариант: без армирования из местных супесчаных грунтов	9,32	15,9	1252,3	92,2	27,4	1,98	0,144	0,65
2	V вариант: без армирования из смеси щебня и крупных песков	11,31	22,6	1759,4	121,0	31,7	2,06	0,146	0,66
3	II вариант: с армированием из 4 слоев геоткани из местных супесчаных грунтов	12,35	22,84	1989,2	122,7	31,9	2,09	0,132	0,60
4	IV вариант: с армированием из 4 слоев геоткани и смеси щебня и крупных песков	15,28	26,1	1990,6	134,2	33,5	2,08	0,146	0,66

см². Численное значение E рассчитывают по формуле Шлейхера [22] для круглого штампа согласно стандартной методике [12].

$$E = (1 - v^2) \times K_p \times K_1 \times D \times \frac{\Delta_P}{\Delta_S}. \quad (1)$$

Значение S_0 определяется согласно стандартной методике [12] на прямолинейном участке кривой $S=f(P)$. Пример определения расчетных показателей показан на рисунке 10.

Расчетные характеристики Δ_P и Δ_S определяются по формулам:

$$\Delta_P = P_3 - P_0, \quad (2)$$

$$\Delta_S = S_3 - S_0. \quad (3)$$

Сравнительный анализ результатов штамповых испытаний показал следующее. Модуль деформации высокоуплотненных грунтовых подушек с горизонтальными армированиями из геосинтетических материалов и без армирования из местных супесчаных грунтов и смеси щебня и крупных песков с влажностью W_{opt} увеличивается по сравнению с модулем деформации местных супесчаных грунтов опытной площадки, с природной влажностью $E=12,1$ МПа и после замачивания $E=3,6$ МПа.

Модуль деформации E подушки по VI вари-

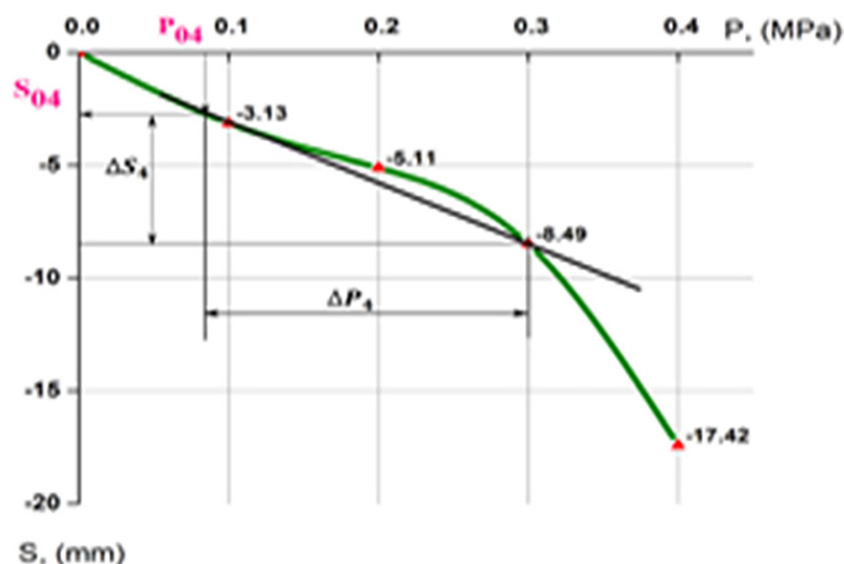


Рисунок 10 – Пример определения расчетных характеристик для обработки результатов штамповых испытаний

анту из части «А» таблицы 3 без армирования из местных супесчаных грунтов, на грунте основания с влажностью W_{sat} по сравнению с E местного грунта основания с природной влажностью в 1,15 раза меньше, при W_{sat} – в 2,59 раза больше.

Модуль деформации E подушки по I варианту (с армированием), по сравнению с E грунта основания с природной влажностью в 1,22 раза больше, или при водонасыщении – в 4,09 раза больше.

Модуль деформации E подушки по II варианту (с армированием), по сравнению с E грунта основания с природной влажностью в 1,03 раза больше, или при водонасыщении – в 3,43 раза больше.

Модуль деформации E подушки по V варианту из части «В» таблицы 3 без армирования из смеси щебня и крупных песков на грунте основания с влажностью W_{sat} по сравнению:

- с E местного грунта основания при W в 1,07 раза меньше, или примерно равно;

- с E местного грунта основания при W_{sat} – в 3,14 раза больше.

Модуль деформации E подушки по III варианту (с армированием) по сравнению с E подушки по V варианту – в 2,94 раза больше.

Модуль деформации E подушки по IV варианту (с армированием) по сравнению с E подушки по V варианту – в 2,17 раза больше.

Модуль деформации E подушки по VI варианту из части «С» таблицы 3 по сравнению с E подушки по V варианту – в 1,21 раза меньше, с E подушки по I варианту – в 1,58 раза меньше, с E подушки по III варианту – в 3,57 раза меньше.

Модуль деформации E подушки по VI варианту из части «D» таблицы 3 по сравнению с E подушки по V варианту в 1,21 раза меньше, с E подушки по II варианту – в 1,33 раза меньше, с E подушки по IV варианту – в 1,65 раза меньше.

Выводы

1. Определен модуль деформации высокоуплотненных грунтовых подушек из местных супесчаных грунтов и смеси щебня и крупных песков с армированием из георешетки и геоткани, или без армирования на предварительно замоченном слабом основании. По сравнению с грунтом основания при природной влажности или водонасыщенном состоянии он возрастает в 1,03-4,09 раза в зависимости от принятого варианта.

2. Модуль деформации высокоуплотненной подушки по варианту VI из местных супесчаных грунтов без армирования меньше в 1,15 раза, чем для грунта природного состояния с влажностью W . То есть за счет послойного высокого уплотнения ($\rho_d=2$ тс/м³) местных глинистых грунтов возможно создать относительно устойчивые грунтовые подушки в условиях техногенного замачивания, по сравнению с природным глинистым просадочным основанием фундаментов мелкого заложения.

3. Применение местных глинистых грунтов для высокоуплотненных грунтовых подушек с армированиями и без армирования из геосинтетических материалов может снизить сметную стоимость работ по устройству основания и фундамента за счет исключения ряда расходов. Кроме того, в плане охраны окружающей природы отпадает необходимость разработки щебеночного и песчаного карьера.

4. По результатам испытаний установлено, что численные значения деформационных и прочностных характеристик грунтовых подушек в зависимости от влажностного режима грунтов основания подушек, типа грунтовых материалов подушки и геосинтетических материалов для армирования грунтовых подушек могут быть в широких пределах в сторону улучшения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nyamdorj S. Central region loess type soil collapsibility and compressibility properties study of Mongolia // ISSMGE. Asian regional conference on Soil mechanics and geotechnical Engineering. Taipei. 2019.
2. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.
3. Vidal, H. The Principal Reinforced Earth // Highway Research. 1969. No. 282. pp. 1-16.
4. Далматов Б.И. и др. Основания и фундаменты. – М.: АСВ, 2002. – 387 с.
5. Мангушев Р.А. и др. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: учебн. пособие. – СПб: АСВ, 2012. – 280 с.
6. Офрихтер В.Г., Пономарев А.Б., Клевеко В.И., Решетникова К.В. Методы строительства армогрунтовых конструкций. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 145 с.
7. Пономарев А.Б., Клевеко В.И., Татьянников Д.А. Анализ изменения прочностных характеристик геосинтетических материалов в процессе эксплуатации // Вестник Воронежского ГАСУ. Стр-во и арх. 2014. № 3 (35). С. 11-16.
8. Усманов Р.А. Повышение эффективности применения уплотненных грунтовых подушек на слабых грунтах // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 69-79.
9. Цытович Н.А. и др. Основания и фундаменты. – М.: Высш. школа, 1970. – 384 с.
10. Schwerdt S. Comparison of pullout test results carried out on steel grid and geosynthetic materials // 11ICG [Electronic resource]: 11th International Conference on Geosynthetics, Coex, Seoul, Korea, Sept. 16-21, 2018 / Korean Geosynthetics Soc., Korean Chap. of Intern. Geosynthetics Soc. Electronic data. [Seoul: Korean Geosynthetics Soc.]. 2018. 8 p. 1 electronic optical disk. Title from screen.
11. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений // БНБД (СНИП) 50.01-16. – Улан-Батор: МГУНТ, 2016. – 148 с.
12. Методы определения деформационных характеристик в полевых условиях // MNS 2489:1986. – Улан-Батор: МГУНТ, 1986. – 37 с.
13. Дашжамц Д. Механика структурно-неустойчивых грунтов. – Улан-Батор: МГУНТ, 2015. – 432 с.
14. Нямдорж С. Основания и фундаменты зданий на просадочных грунтах. – Улан-Батор: МГУНТ, 2021. – 261 с.
15. Золотозубов Д.Г. Анализ работы армированных оснований при деформациях грунтовых массивов: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2011. – 119 с.
16. Клевеко В.И. Оценка напряженно-деформированного состояния армированных оснований в пылевато-глинистых грунтах: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02. Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2002. – 152 с.
17. Татьянников Д.А., Пономарев А.Б., Клевеко В.И. Исследование характеристик взаимодействия геосинтетических материалов с грунтом для оценки несущей способности армированных фундаментных подушек // Актуальные проблемы геотехники: сб. ст., посвящ. 60-летию проф. А.Н. Богомолова. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2015. С. 310-317.
18. Bolton M.D. The strength and dilatancy of sand // Geotechnique. 1986. No. 1 (36). pp. 65-78.
19. Rawal A., Shah T.H., Anand S.C. Geotextiles in civil engineering // Elsevier Science Publishing Company, Inc Handbook of Technical Textiles (Second Edition), 2016. pp. 111-133.
20. Alfaro, M.C. Soil Geogird Reinforcement Interaction by Pullout and Direct Shear Test. // Geotechnical testing Journal GTJODJ-1995. Vol. 18, No. 2. – pp. 157-167.
21. Coduto D. Foundation Design: Principles and Practices. / – 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 883 p.
22. Schleier F. Senkungsmittel wert und ahnlichkeitsbedingung fur platen und balken auf isotroper elastischer unterlage // Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik. 1928. B. 8. pp. 68-70.

Ылғалданған шөккіш негіздерде геосинтетикалық арматурасы бар топырақ жастықтарының деформация модулін анықтау

¹***НЯМДОРЖ Сетев**, PhD, профессор, nyamdorj@must.edu.mn,

¹**ДАШЖАМЦ Далайн**, т.ғ.д., профессор, ddashjamts@must.edu.mn,

¹**ОДОНТУЯА Нямдорж**, аспирант, оқытушы, odnoo@stda.edu.mn,

¹Моңғол ғылым және технология университеті, Моңғолия, 14191, Ұланбатыр, Бага тойруу көшесі, 34,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Моңғолияда таралған төрттік шөгінді неогенді борпылдақ шөгінділер инженерлік ғимараттар мен үймереттердің негізі ретінде көп қолданылады. Олардың көпшілігі шөккіштілігі бойынша I типті лес тәрізді шөгінді топырақтары ретінде жіктеледі. Олардың құрылыс қасиеттерін арттыру мақсатында тәжірибелік алаңда қатты нығыздалған топырақ жастықтарының деформация модулін анықтау бойынша шатмпптық сынақтар жүргізілді. Бұл Моңғолияның топырақ жағдайларының аймақтық ерекшеліктерін ескере отырып, аз жүктелген саяз орнатылған іргетастарға арналған. Штампптық сынақтардың деректері бойынша ылғалдылығы мен тығыздығын ескере отырып, әртүрлі топырақ материалдарынан жасалған арматураланған және арматураланбаған топырақ жастықтарының деформация модулінің сандық мәндері анықталынды. Топырақ жастықтары қиыршық-құмды қоспасынан және жергілікті құмды-сазды топырақтан жасалған, тегіс геотор мен геоматамен арматураланған алдын ала суланған шөккіш негізге орналастырылған. Топырақ жастықтарын сұлбалаудың әртүрлі факторларына байланысты штампптық модулінің сандық мәндеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Сынақ нәтижелері бойынша топырақ жастықтарының деформация модулінің сандық мәндері негіз топырақтарының ылғалдылық режиміне, топырақ материалдарының түріне, жастықтарға және арматуралауға арналған геосинтетикалық материалдарға байланысты жақсартылуы мүмкін екендігі анықталды.

Кілт сөздер: лес тәрізді топырақтар, техногенді суландыру, көтергіштік қабілеті, шөгінді, геосинтетикалық арматуралау, қабатты тығыздау, штампптық сынау.

Determination of Deformation Modulus of Soil Cushions with Geosynthetic Reinforcements on Soaked Subsidence Bases

^{1*}**NYAMDORJ Setev**, PhD, Professor, nyamdorj@must.edu.mn,

¹**DASHJAMTS Dalayn**, Dr. Tech. Sci., Professor, ddashjamts@must.edu.mn,

¹**ODONTUYA Nyamdorj**, post-graduate student, Teacher, odnoo@stda.edu.mn,

¹Mongolian University of Science and Technology, Mongolia, 14191, Ulaanbaatar, Baga toiruu Street, 34,

*corresponding author.

Abstract. Neogenic loose sediments of Quaternary age, common on the territory of Mongolia, are often used as the foundation of buildings and engineering structures. Many of them are classified as loess-like subsidence soils of type I in terms of subsidence. In order to improve their construction properties, stamp tests were carried out at the experimental site to determine the deformation modulus of highly compacted soil pillows for lightly loaded shallow foundations, taking into account the regional characteristics of the soil conditions of Mongolia. According to the stamp tests, numerical values of the deformation modulus of reinforced and non-reinforced soil pillows from different soil materials were determined, taking into account their humidity and density. The soil cushions are arranged on a pre-soaked subsidence base made of crushed stone-sand mixture and local sandy loam soil with reinforcement from a flat geogrid and geotextile. A comparative analysis of the numerical values of the die modulus of deformation depending on the varying factors of modeling of soil pillows is carried out. According to the test results, it was found that the numerical values of the deformation modulus of soil pillows, depending on the humidity regime of the base soils, the type of pillow soil materials and geosynthetic materials for reinforcement can be improved.

Keywords: loess-type soils, technogenic soil wetting, bearing capacity, subsidence, geosynthetic materials for reinforcement, periodic consolidation, stamping test.

REFERENCES

1. Nyamdorj S. Central region loess type soil collapsibility and compressibility properties study of Mongolia // ISSMGE. Asian regional conference on Soil mechanics and geotechnical Engineering. Taipei. 2019.
2. Dzhezhov K.D. Sooruzheniya iz armirovannogo grunta. – Moscow: Strojizdat, 1989. – 268 p.
3. Vidal, H. The Principal Reinforced Earth // Highway Research. 1969. No. 282. pp. 1-16.
4. Dalmatov B.I. i dr. Osnovaniya i fundamente. – Moscow: ASV, 2002. – 387 p.
5. Mangushev R.A. i dr. Metody podgotovki i ustrojstva iskusstvennyh osnovanij: uchebn. posobie. – Saint Petersburg: ASV, 2012. – 280 p.
6. Ofrihter V.G., Ponomarev. A.B., Kleveko V.I., Reshetnikova. K.V. Metody stroitel'stva armogruntovyh konstrukcij. – Perm': Publ. Perm. gos. tekhn. un-ta, 2010. – 145 p.
7. Ponomarev A.B., Kleveko V.I., Tat'yannikov D.A. Analiz izmeneniya prochnostnyh harakteristik geosinteticheskikh materialov v processe ekspluatatsii // Vestnik Voronezhskogo GASU.Str-vo i arh. 2014. No. 3 (35). pp. 11-16.
8. Usmanov R.A. Povyshenie effektivnosti primeneniya uplotnennyh gruntovyh podushek na slabyyh gruntah // Vestnik MGSU. 2013. No. 5. pp. 69-79.
9. Cytovich N.A. i dr. Osnovaniya i fundamente. – Moscow: Vyssh. shkola, 1970. – 384 s.
10. Schwerdt S. Comparison of pullout test results carried out on steel grid and geosynthetic materials // 11ICG [Electronic resource]: 11th International Conference on Geosynthetics, Coex, Seoul, Korea, Sept. 16-21, 2018 / Korean Geosynthetics Soc., Korean Chap. of Intern. Geosynthetics Soc. Electronic data. [Seoul: Korean Geosynthetics Soc.]. 2018. 8 p. 1 electronic optical disk. Title from screen.
11. Proektirovanie osnovanij i fundamentov zdaniy i sooruzhenij // BNbD (SNiP) 50.01-16. – Ulan-Bator: MGUNT, 2016. – 148 p.
12. Metody opredeleniya deformacionnyh harakteristik v polevyh usloviyah // MNS 2489:1986. – Ulan-Bator: MGUNT, 1986. – 37 p.
13. Dashzhamc D. Mekhanika strukturno-neustojchivyyh gruntov. - Ulan-Bator: MGUNT, 2015. – 432 p.
14. Nyamdorzh S. Osnovaniya i fundamente zdaniy na prosadochnyyh gruntah. - Ulan-Bator: MGUNT, 2021. – 261 p.
15. Zolotozubov D.G. Analiz raboty armirovannyh osnovanij pri deformatsiyah gruntovyh massivov: Diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02. – Volgograd: Publ. VolgGASU, 2011. – 119 p.
16. Kleveko V.I. Ocenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya armirovannyh osnovanij v pylevato-glinistykh gruntah: Diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02. Perm. gos. tekhn. un-t. – Perm', 2002. – 152 p.
17. Tat'yannikov D.A., Ponomarev A.B., Kleveko V.I. Issledovanie harakteristik vzaimodeystviya geosinteticheskikh materialov s gruntom dlya ocenki nesushchej sposobnosti armirovannyh fundamentnyh podushek // Aktual'nye problemy geotekhniki: sb. st., posvyashch. 60-letiyu prof. A.N. Bogomolova. – Volgograd: Publ. VolgGASU, 2015, pp. 310-317.
18. Bolton M.D. The strength and dilatancy of sand // Geotechnique. 1986. No. 1 (36). pp. 65-78.
19. Rawal A., Shah T.H., Anand S.C. Geotextiles in civil engineering // Elsevier Science Publishing Company, Inc Handbook of Technical Textiles (Second Edition), 2016, pp. 111-133.
20. Alfaro, M.C. Soil Geogird Reinforcement Interaction by Pullout and Direct Shear Test. // Geotechnical testing Journal GTJODJ-1995. Vol. 18, No. 2. – pp. 157-167.
21. Coduto D. Foundation Design: Principles and Practices. / – 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 883 p.
22. Schleiher F. Senkungsmittel wert und ahnlichkeitsbedingung fur platen und balken auf isotroper elastischer unterlage // Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik. 1928. B. 8. pp. 68-70.