

образца прочности образца при сжатии на 4,05% и при изгибе на 15,23%.

Выводы. Таким образом, введение в состав цементобетона добавки СЗ положительно влияет на его физико-механические характеристики, повышает прочность при сжатии и прочность при изгибе цементобетона.

Ключевые слова: автомобильная дорога, цементобетон, добавка, физико-механические характеристики.

Литература

1. Солоненко И.П. Модифицированные цементобетонные композиции для дорожного покрытия // Вісник ОДАБА. Вып. №48. Частина 2 – Одеса: ТОВ «Зовнішрекламсервіс» 2012. – С. 98-103.
2. Р.Я.Лівша, М.Я. Гнатів Поздовжня стійкість цементобетонного покриття. 2003 С 99-102.
3. В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. Химические добавки для модификации бетона: Каз. ГАСУ— М. Изд. «Палеотип», 2006. - 244 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Бетони важкі. ТУ.
5. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
6. Солоненко И.П. Совершенствование метода оценки качества дорожного покрытия из цементобетона. Друга наукова-практична конференція. ОДАТРА, м. Одеса 2011. – С.93 - 95.

УДК 624.131

СТРУКТУРНАЯ ПРОЧНОСТЬ КАК ДОМИНИРУЮЩИЙ ФАКТОР СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ ВНЕШНИМ НАГРУЗКАМ

Кердикашвили Д.В., Бойко Р.И. гр. ПГС-446.

*Научные руководители – к.т.н., доц. Марченко М.В.,
к.т.н. Мосичева И.И. (кафедра Оснований и фундаментов, ОГАСА)*

Аннотация: рассматривается методология выполнения полевых исследований строительных параметров искусственного грунтового массива. Анализ результатов экспериментов показал чёткую корреляцию величины структурной прочности и основных параметров процесса деформирования грунтов под нагрузкой.

Цель работы: получить качественные и количественные зависимости характеризующие показатели сжимаемости грунтовых оснований при их нагружении.

Задача работы: выявить базовый параметр грунта, обуславливающий параметры процесса деформирования основания.

Ключевые слова и индексы: штамп; давление по подошве; осадка (S) и её необратимая (S_n) и обратимая (S_o) составляющие; кольцевые глубинные магнитные марки; глубина зоны деформации (H_a) и её необратимая (H_a'') составляющая; структурная прочность ($P_{стр}$); НДС – напряженно-деформированное состояние грунта.

Актуальность исследований

На одном из совещаний, посвящённом слабым грунтам, Н.А.Цытович обратил внимание исследователей и проектировщиков, «...что реальной физической характеристикой грунтов, определяющей границу их деформируемости (уплотняемости), является их структурная прочность», которая пока не учитывается в расчетах [1].

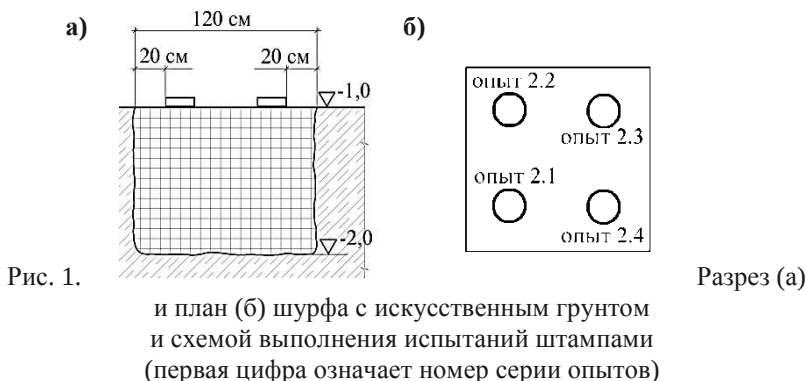
Накопленные к настоящему времени результаты многочисленных полевых экспериментальных исследований совершенствуют представления о процессах трансформирования НДС грунтов основания под влиянием внешней нагрузки. Появились новые количественные показатели деформативных свойств грунтов. Оценка сжимаемости грунтовых оснований (расчет осадки) по существующим нормам базируется на условных допущениях, которые не совсем коррелируются с результатами натурных исследований, а именно:

- грунтовая среда рассматривается как изотропное линейно-деформируемое полупространство, при этом изменение дополнительного давления по глубине не зависит от вида грунтов, их состава и состояния.
- глубина сжимаемой толщи назначается условно по соотношению напряжений от собственного веса грунта и дополнительного давления, и не зависит от показателей деформативных свойств грунтов.
- модуль деформации определяется полевыми испытаниями по условно-линейному участку зависимости осадки от нагрузки, а деформативные свойства грунтов оцениваются величиной осадки, размером и формой штампа, давлением по подошве, без учета параметров, характеризующих процессы их деформирования.

Корректировка приведенных выше условных допущений, обоснованная результатами натурных экспериментальных исследований, является актуальной задачей уточнения основных расчётных положений при определении осадок зданий и сооружений.

Методика исследований

Массив с механически разрушенной структурой готовился в шурфе размерами в плане 1,2×1,2 м и глубиной 1,0 м (рис. 1,а) путем его заполнения предварительно измельченной, перетертой и тщательно перемешанной с водой грунтовой массой из лессовидного суглинка.



После поглощения избыточной влаги стенками и дном шурфа поверхность искусственного массива засыпалась песком, защищалась рубероидом, а сверху покрывалась слоем грунта для исключения быстрого высыхания, растрескивания и промерзания зимой.

В четырех точках на плане полученного таким образом основания (рис. 1,б) через 3, 10, 23 и 33 месяца после «приготовления» проводились экспериментальные исследования его сжимаемости нагружением круглым штампом площадью 300 см². Измерения послойных перемещений грунта в основании штампа выполнялись с помощью кольцевых ($\varnothing_{\text{вн.}} = 11$ мм, $\varnothing_{\text{нар.}} = 19$ мм) глубинных магнитных марок (рис. 2), устанавливаемых вдоль его вертикальной оси с интервалом 50 мм [2, 3].

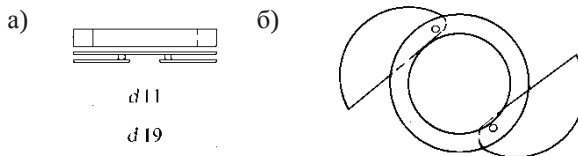


Рис.2.

Конструктивная схема кольцевой глубинной магнитной марки в монтажном положении (а) и с раскрытыми (б) анкерующими её в стенки скважины сегментами

Нагрузка на штамп, прикладывалась путем укладки тарированного груза массой 20 кг. Применение специального измерительного комплекса «магнитная марка – геркон – нониус» повысили устойчивую точность замеров осадки штампа и перемещений глубинных марок до гарантированной величины 0,1 мм [4, 5].

Испытания проводились по методике циклически возрастающей нагрузки-разгрузки, при которой каждая ступень представляла самостоятельный цикл: приложение нагрузки, выдерживание ее до условной стабилизации, принятой 0,1 мм/сут, и последующей разгрузки [6, 7]. При этом измерялись: осадка штампа, перемещения глубинных марок (S) и их необратимые составляющие (S''), по которым определялись обратимые её значения ($S^o = S - S''$). Перед и после окончания испытания и демонтажа оборудования определялись значения плотности скелета грунта и влажность под штампом и за пределами зоны деформаций, величины которых колебались в пределах, соответственно, $\rho_d = 1,54...1,55$ г/см³ и $W = 0,24...0,26$.

Исследования показали увеличение во времени показателей строительных свойств искусственного массива, количественно выражающееся соответствующими параметрами сжимаемости, что интегрально отражают графики зависимости "давление – осадка".

На рис. 3 показаны зависимости «давление – осадка», в том числе ее обратимой составляющей, построенные для разных интервалов времени генезиса грунтового массива. Уменьшение сжимаемости искусственного массива количественно выразилось последовательным уменьшением величины осадки.

Так, например, при давлении по подошве штампа 0,3 МПа осадка в опыте 2.1 составила 107,4 мм, в опыте 2.2 – 53,5 мм, в опыте 2.3 – 21,2 мм и в опыте 2.4 – 13,1 мм, т.е. величина осадки через 30 месяцев уменьшилась практически в 8 раз.

Под величиной структурной прочности понимается минимальное давление по подошве штампа, при котором деформации грунта полностью обратимы, т.е. после разгрузки штамп возвращается в исходное положение, а необратимое (остаточное) уплотнение грунта не проявляется. В соответствии с этим, величину структурной прочности можно определить тремя независимыми расчетно-графическими приемами или способами [8, 9]:

1) по совмещенному графику зависимостей полной осадки (S) штампа и её обратимой (S^o) составляющей от давления по подошве – $S = f(P)$ и $S^o = f(P)$: проекцией точки их расхождения на ось давлений;

2) по графику пересечения необратимой составляющей осадки (S'') штампа $S'' = f(P)$ с осью давлений;

3) по графику пресечения зависимости глубины необратимой (H''_a) зоны деформации $H''_a = f(P)$ с осью давлений.

С возрастом водно-коллоидные и цементационные связи искусственного массива восстанавливаются, что интегрально характеризуется увеличением структурной прочности во времени, которая определялась в соответствии с приведенными выше приемами. На рисунке 4 показан график возрастания значений величины структурной прочности (по частным её значениям) на рассматриваемом интервале времени.

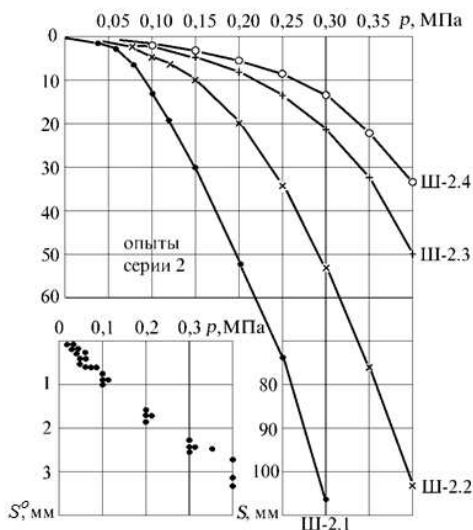


Рис. 3. Зависимости полной осадки штампа (S) и её обратной (S') составляющей от давления в опытах на искусственном основании

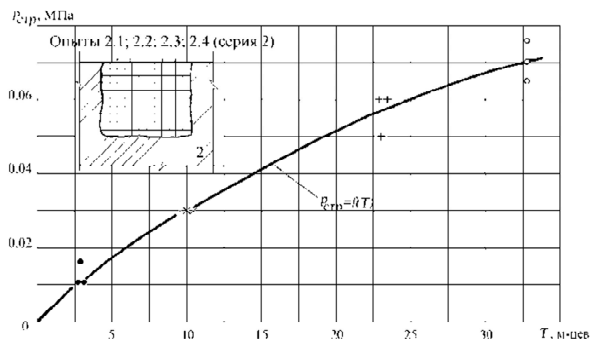


Рис. 4. График возрастания структурной прочности во времени

Средние значения величины структурной прочности для соответствующих периодов времени сведены в колонку 4 таблицы 1. Так, значение $p_{стр}$ искусственного основания выросло от 0,012 МПа (3 мес.) до 0,03 МПа (10 мес.), 0,057 МПа (23 мес.) и 0,07 МПа (33 мес.). Таким образом, можно констатировать восстановление за 33 месяца практически 60% структурной прочности природного грунта [10].

Таблица 1. Показатели сжимаемости, характеризующие повышение параметров строительных свойств искусственного массива

Номер опыта	Возраст, T , мес.	Давление, P , МПа	$P_{стр}$, МПа	Глубина зоны деформаций, см		Необратимая осадка, см		
				H_a	H_a''	S''	S_n''	S_v''
2.1	3	0,3	0,012	65	59	10,49	2,78	7,71
2.2	10	0,4	0,030	69	63	10,16	3,27	6,89
2.3	23	0,4	0,057	62	49	4,71	2,4	2,31
2.4	33	0,4	0,070	56	41	3,08	1,87	1,19

Как показали результаты исследований, величина структурной прочности находится в тесной корреляционной связи с глубиной зоны необратимой (остаточной) деформации (рис. 5). Так, при давлении по подошве штампа, равном 0,2 МПа, её глубина при величине структурной прочности, равной 0,07 МПа (33 мес.), практически в два раза меньше, чем при $P_{стр} = 0,012$ МПа (3 мес.).

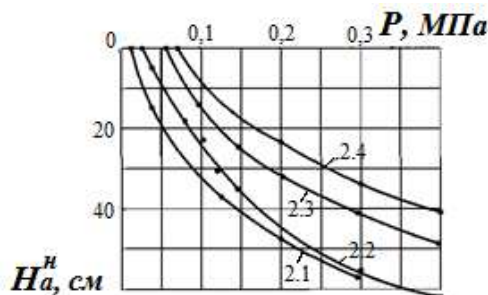


Рис. 5. Графики зависимости глубины зоны необратимых (остаточных) деформаций от давления по подошве штампа

Комплексная методология выполненных исследований, всесторонняя обработка и анализ их результатов дали возможность оценить роль бокового расширения «несущего столба» в формировании величины осадки штампа [11]. В таблице показано количественное долевое участие деформаций сжатия (S_n – колонка 8) и бокового расширения (S_v – колонка 9) в полной осадке штампа (S – колонка 7).

Так, в опыте № 2.1 ($T = 3$ мес., $P_{cmp} = 0,012$ МПа) при давлении по подошве штампа, равном 0,3 МПа, зафиксирована осадка $S = 10,49$ мм, которая сформировалась за счёт сжатия или уплотнения (уменьшения объёма пор) грунта – $S_n = 2,78$ мм и деформаций бокового расширения или формоизменения (без уменьшения объёма пор) – $S_v = 7,71$ мм. Те же величины в опыте № 2.4 ($T = 33$ мес., $P_{cmp} = 0,07$ МПа) при давлении по подошве штампа, равном 0,4 МПа, составили: $S = 3,08$ мм, $S_n = 1,87$ мм и $S_v = 1,19$ мм. Таким образом, увеличение структурной прочности обусловило резкое изменение соотношения деформаций уплотнения и формоизменения.

Дальнейшее совершенствование методики, а также всесторонняя качественная и количественная обработка полученных результатов при определении соотношения относительных горизонтальных и относительных вертикальных деформаций дали возможность численно оценить величину коэффициента бокового расширения грунта [12].

Кроме того, как отдельный элемент общей методологии испытаний, была разработана методика прогнозирования возрастания величины структурной прочности искусственных грунтов во времени и получена соответствующая функциональная зависимость [13]. В рамках объема статьи указанные методики и приемы рассмотренных подходов и их количественная реализация, характеризующие процесс

деформирования грунтовых оснований под нагрузкой, подробно не приводятся.

Література

1. Цытович Н.А. Вопросы теории и практики строительства на слабых водонасыщенных грунтах. – Таллин, 1965. – С.5-17.
2. Тугаенко Ю.Ф., Марченко М.В. Некоторые особенности развития деформаций в основаниях опытных фундаментов // Инженерная геология. – 1988. – №3. – С.46-54.
3. Марченко М.В. Некоторые вопросы совершенствования методики испытаний глинистых грунтов в полевых условиях //Механика грунтов и фундаментостроение /Тр. 3 Украинской науч.-техн. конф. Том 2. – Одесса, 1997. – С. 306-308.
4. Ji. Seycek. Field test of soil deformation beneath foundation // Труды V Дунайско-Европейской конференции по механике грунтов и фундаментостроению. – Т.3: ЧСССР. – Братислава, 1977. – С.275-287.
5. Марченко М.В., Кушак С.И. Измерения деформаций грунтов бесконтактным методом, и оценка его погрешности //Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури /Наук. вид. – Вип. 4. – Одеса: Астропринт, 2001. – С. 325-331.
6. Терцаги К. Теория механики грунтов: Пер. с англ. – М.: Госстройиздат, 1961. – 607 с.
7. Марченко М.В. Деформации основания при загрузке и разгрузке штампа //Исследование работы оснований и фундаментов в сложных грунтовых условиях /Межвуз. сб. – Казань: КазИСИ, 1985. – С. 40-44.
8. Марченко М.В., Тугаенко Ю.Ф. Оценка строительных свойств лессовых грунтов в полевых условиях при циклически возрастающих нагрузках //Основания и фундаменты /Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1991. – Вып. 24 – Киев: Будівельник.– С. 29-31.
- 9.Тугаенко Ю.Ф., Марченко М.В. Влияние структурной прочности на процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов //Геотехника Беларуси: наука и практика / Мат. международной науч.-техн. конф., Ч. 1. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 397-403.
10. Марченко М.В. Влияние возраста искусственных глинистых оснований на показатели их деформативных свойств //Исследования напряженно-деформированного состояния сложных грунтовых оснований /Межвед. сб. – Казань: КазИ-СИ, 1989. – С. 81-85.
11. Y. Tugaenko. Peculiarities of the soil deformation process at the bases of experimental settlement plates / Y. Tugaenko, M. Marchenko, A. Tkalic, I. Mosicheva // TECHNICAL JOURNAL – Scientific professional journal of University North. – Vol. 9. – №1. – March, 2015. – pp. 40-46. – ISSN 1846-6168.

12. Mikhailo Marchenko, Iryna Mosicheva, Aleksej Aniskin. Estimation of poisson's ratio of soil using stiffness of loose soils / Electronic Journal of the faculty of civil engineering Osijek – e-GFOS. №16, 2018., pp. 83-94. ISSN1847 – 8948.

13. Марченко М.В., Чуприн П.В., Тугаенко Ю.Ф., Чуприн В.Н. Прогнозирование строительных свойств искусственных оснований //Съвременни технологии в транспортното строителство / IX междунар. науч.-прил. конф. – София: Трансстрой, 1991. – С. 231-232.

УДК 531.3

КОЛЕБАНИЯ УПРУГОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Козаченко К.А., гр. ПГС-255.

*Научный руководитель – ст. преп. Фомина И.П.
(кафедра Теоретической механики, ОГАСА)*

Рассмотрим некоторую упругую механическую систему с двумя степенями свободы (рис.1). Составим основное уравнение динамики для каждой из точек: $m_k \mathbf{a}_k = \mathbf{R}_k$ ($k=1,2$), (m_k – масса материальной точки M_k , $\mathbf{R}_k$ – реакция упругой системы в точке M_k) и спроектируем его на ось q_k системы обобщенных координат:

$$m_1 \ddot{q}_1 = -R_1,$$

$$m_2 \ddot{q}_2 = -R_2.$$

Заметим, что реакция в точке M_k зависит не только от перемещения этой точки, но и от перемещения второй. Действительно,

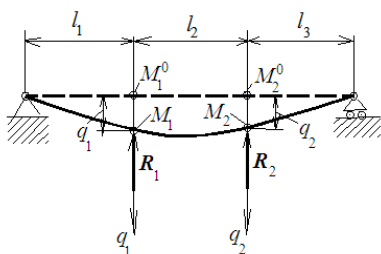


Рис.1

пусть стержневая система находится под действием двух постоянных сил $\mathbf{P}_1$ и $\mathbf{P}_2$ (рис. 2). Пусть сначала $P_1 = 1$, а $P_2 = 0$. Обозначим перемещения точек M_1 и M_2 , в которых приложены силы, через q_{11} и q_{21} . Аналогично, обозначим перемещения этих точек.

Через q_{12} и q_{22} в том случае, когда $P_1=0$, а $P_2= 1$. В дальнейшем будем называть их коэффициентами влияния.