

Таблица 1 – Значения относительной осадки, полученные в результате испытаний и при моделировании с использованием программы

Давление, МПа	Отношение осадки к высоте образца	
	Экспериментальные данные	Данные, вычисленные по программе
0	0	0
0,01	0	0
0,02	0,1	0
0,03	0,15	0
0,04	0,2	0
0,05	0,3	0
0,06	0,35	0
0,07	0,4	0
0,08	0,55	0
0,09	0,6	0
0,1	0,75	0
0,11	0,8	0
0,12	0,85	0,008
0,13	0,95	0,03
0,14	1,05	0,067

Давление, МПа	Отношение осадки к высоте образца	
	Экспериментальные данные	Данные, вычисленные по программе
0,15	1,15	0,12
0,16	1,25	0,189
0,17	1,45	0,276
0,18	1,6	0,379
0,19	1,8	0,499
0,2	2	0,636
0,21	2,2	0,789
0,22	2,4	0,957
0,23	2,65	1,14
0,24	2,8	1,337
0,25	3	1,546
0,26	3,1	1,767
0,27	3,2	1,998
0,28	3,4	2,238
0,29	3,55	2,485

ВЫВОДЫ

Представленный комбинированный метод моделирования осадки грунта включает в себя структурную модель (имитация изменения состава грунта в ходе компрессионных испытаний) и эмпирическую модель, позволяющую преобразовать изменение объема образца в осадку. Коэффициент корреляции, равный 0,9416, показывает большую близость значений, полученных при моделировании и экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швецов, Г.И. Инженерно-геологическая природа и законы деформирования лессовых пород (на примере юга Западной Сибири): Дис. ...д-ра г.-м.наук: 04.00.07./ Г. И. Швецов –Иркутск, 1991. - 434 с.
2. Строкова, Л.А. Определяющие уравнения для грунтов. Soil Constitutive Models: учебное пособие / Л.А. Строкова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 151 с.

УДК 624.131.23

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В.Н. Лебзак

В статье приведены: изменение прочностных и деформационных свойств лессовых грунтов при различных сроках эксплуатации зданий. Изменение химических процессов и прочности индивидуальных контактов.

Ключевые слова: синерезис, просадочность, деформация.

ВВЕДЕНИЕ

Весьма актуальной проблемой настоящего времени является реконструкция, пере-профилирование и изменения функционального назначения зданий.

Большинство российских городов расположены на берегах крупных рек, вследствие чего основаниями этих зданий преимущественно являются лессовые просадочные грунты. При длительной эксплуатации зданий в их основаниях происходит ряд внутренних процессов, который приводит к изменению прочностных и деформационных свойств лессовых грунтов.

В нашем регионе автором была проведена значительная работа по выявлению основных закономерностей изменения свойств лессовых просадочных грунтов в основаниях зданий при их длительной эксплуатации. Были проведены исследования изменения прочностных и деформационных характеристик лессовых просадочных грунтов в основаниях зданий с различными сроками их эксплуатации, которые колебались в пределах от 10 до 40 лет.

Был выполнен анализ микроструктуры лессовых просадочных грунтов непосредственно под подошвой фундамента, в естественном состоянии и при различных ступенях

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

компрессионного уплотнения для зданий с различными сроками эксплуатации. Была определена средняя прочность индивидуальных контактов между частицами грунта в основаниях длительно эксплуатируемых зданий в зависимости от сроков их эксплуатации, а так же в естественном состоянии.

Был проведен химический анализ водной вытяжки из образцов грунта.

Результатом этой работы было получение зависимостей изменения прочностных и деформационных характеристик лессовых просадочных грунтов оснований от сроков эксплуатации зданий и прогнозирование этих изменений.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для экспериментальных исследований была выбрана площадка, застроенная пятиэтажными жилыми зданиями, основаниями которых являются лессовые просадочные грунты. Исследуемые здания выбраны по следующим признакам:

1) Все здания находятся в идентичных инженерно-геологических условиях.

2) Здания имеют различные сроки эксплуатации.

3) Все здания являются 5-этажными жилыми зданиями с наличием подвального помещения, имеют идентичные серийные конструкции ленточных фундаментов и близкое по величине давление на грунты оснований, которое находится в пределах от 0,25 до 0,3 МПа и не превышает расчетного сопротивления грунтов.

Известно, что при длительной эксплуатации в основаниях фундамента эксплуатируемых зданий происходит изменение свойств лессовых просадочных грунтов, которое вызвано влиянием различных факторов.

Во первых – действием на основание давления от массы, которое вызывает уплотнение грунта. За счет уплотнения зачастую улучшаются физические, прочностные и деформационные свойства и это приводит к увеличению несущей способности основания.

Но работу основания под действием длительных нагрузок от зданий было бы не верно характеризовать лишь одним процессом уплотнения грунта, который внешне проявляется в виде осадки здания.

Наряду с уплотнением в основаниях происходят и более сложные явления и процессы, которые приводят к изменению прочностных свойств лессовых просадочных грунтов. Прогнозирование изменений этих

свойств грунтов без специальных исследований весьма затруднительно.

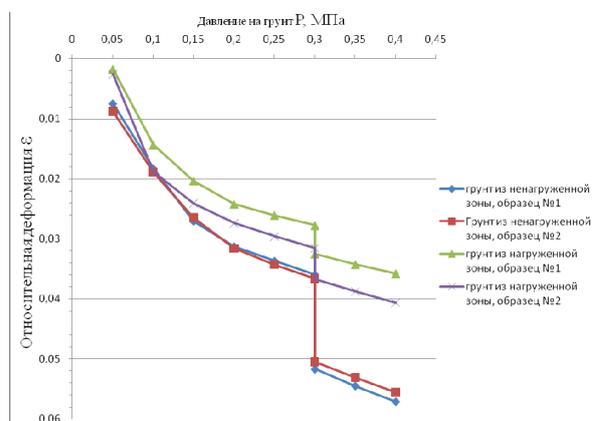


Рисунок 1 – Компрессионная кривая грунта площадки № 1

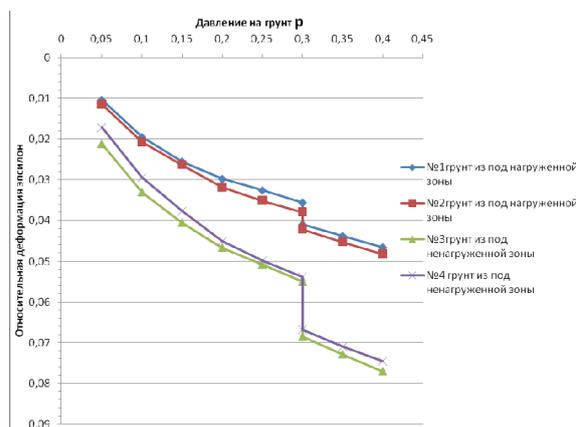


Рисунок 2 – Компрессионная кривая грунта площадки № 2

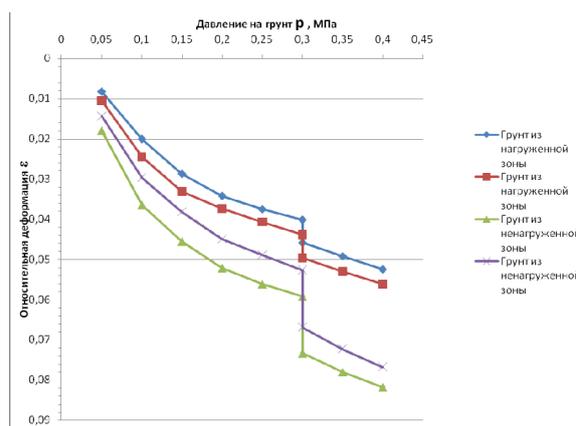


Рисунок 3 – Компрессионная кривая грунта площадки № 3

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

В процессе исследования природы деформаций лессовых грунтов было установ-

лено, что их прочность определяется прочностью и числом связей, слагающих грунты частицами, в единице объема. Уплотнение глинистого грунта связано с взаимным перемещением в более компактное состояние слагающих его частиц.

После статического обобщения усредненных физико-механических, прочностных и деформационных характеристик лессовых грунтов в пределах экспериментальной площадки была составлена таблица их изменений и графики.

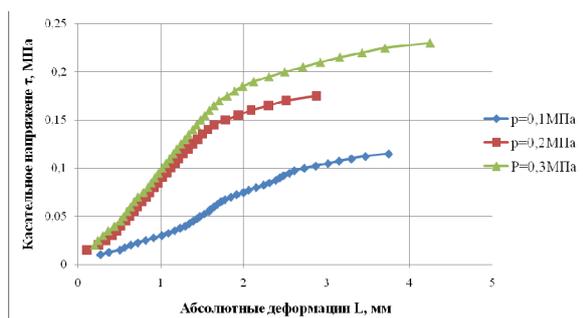


Рисунок 4 – График зависимости деформаций грунта от сдвигающих напряжений ненагруженной зоны площадки № 1

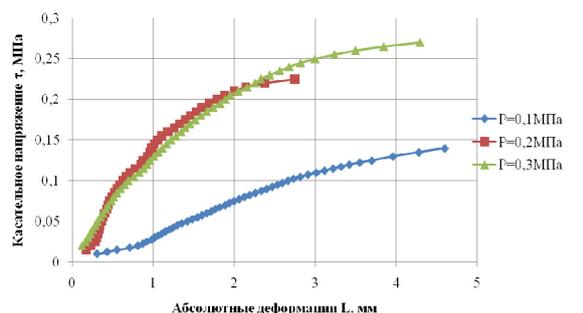


Рисунок 5 – График зависимости деформаций грунта от сдвигающих напряжений нагруженной зоны площадки № 1

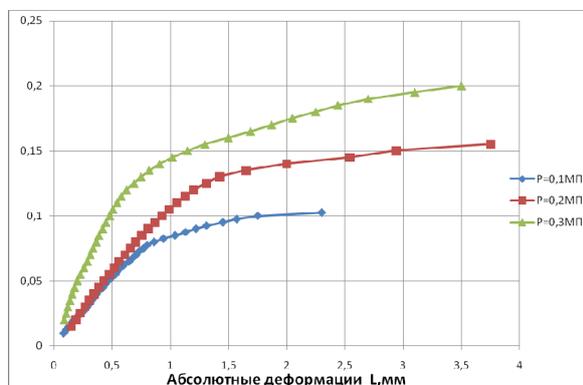


Рисунок 6 – График зависимости деформаций грунта от сдвигающих напряжений нагруженной зоны площадки № 2

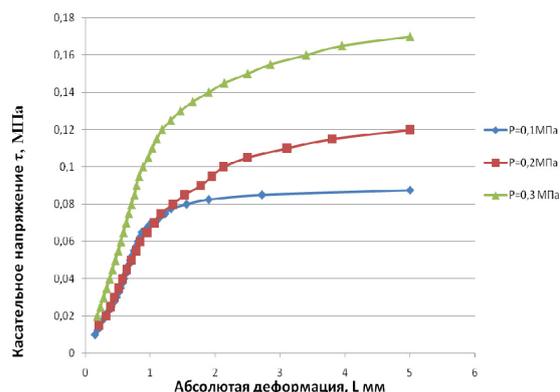


Рисунок 7 – График зависимости деформаций грунта от сдвигающих напряжений ненагруженной зоны площадки № 3

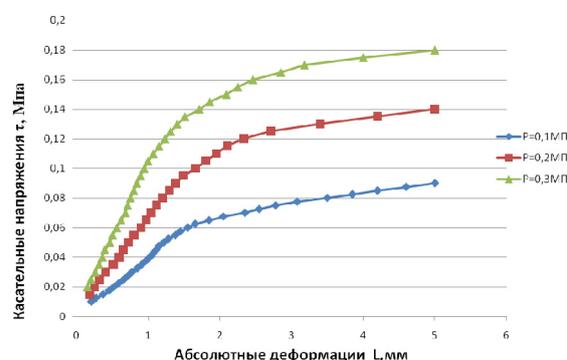


Рисунок 8 – График зависимости деформаций грунта от сдвигающих напряжений. Грунт отобран с площадки № 3

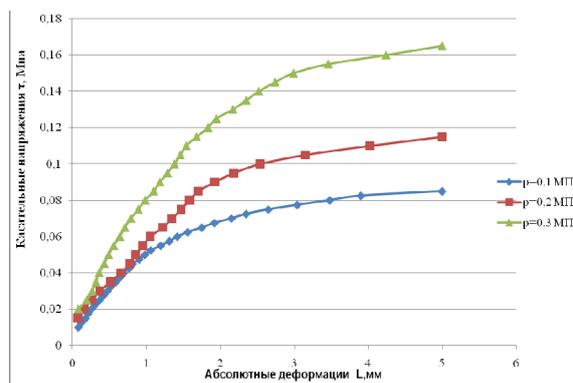


Рисунок 9 – График зависимости деформаций грунта от сдвигающих напряжений, ненагруженная зона площадки № 3

Важно отметить, что в процессе длительной эксплуатации лессовых грунтов в основаниях зданий наряду с многими процессами происходит изменение показателя текучести грунта. При 10-15 годах эксплуатации грунты оснований находятся в твердом состоянии как и начальные, но при 20 и более годах они переходят в пластичное состояние.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

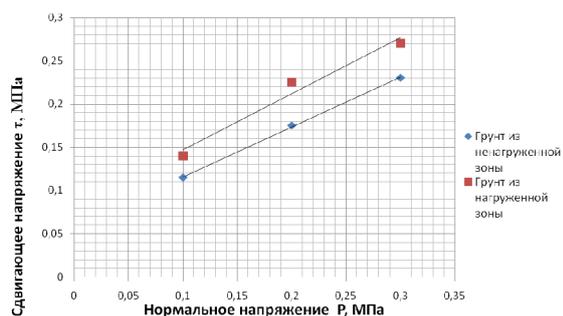


Рисунок 10 – График зависимости сдвигающих напряжений от нормальных. Грунт отобран с площадки № 1

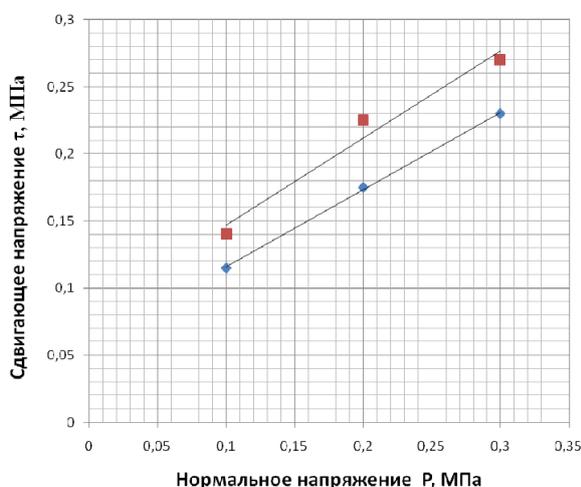


Рисунок 11 – График зависимости сдвигающих напряжений от нормальных. Грунт отобран с площадки № 2

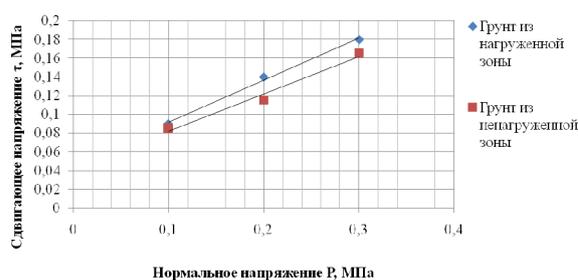


Рисунок 12 – График зависимости сдвигающих напряжений от нормальных. Грунт отобран с площадки №3

На основании приведенных исследований можно сделать вывод о том, что при определенном сроке эксплуатации – около 20 лет создается прочное, устойчивое основание, позволяющее значительно увеличивать нагрузку на существующие фундаменты без их усиления и реконструкции. Это подтверждает предположение о том, что при 20 летнем сроке эксплуатации формируется новая, более прочная структура лессового грунта.

Для выявления изменения структуры лессового грунта была определена прочность индивидуальных контактов между частицами грунта непосредственно под подошвой фундамента и в ненагруженной зоне при различных сроках эксплуатации.

Таблица 1 – Изменения свойств лессовых грунтов в зависимости от сроков эксплуатации зданий

а) Грунт из нагруженной зоны								
ρ , г/см ³	ρ_d , г/см ³	W, %	e	ϕ , град	c, МПа	E, МПа	ϵ_{sl}	усилие разрыва, г/см ²
Срок эксплуатации 17 лет								
1,69	1,48	14,3	0,833	24	0,047	6,0	0,0054	43,8
Срок эксплуатации 23 года								
2,04	1,75	16,9	0,552	26	0,055	7,0	0,0051	23,9
Срок эксплуатации 30 лет								
2,19	1,93	13,4	0,402	33	0,082	9,2	0,0049	29,4
б) Грунт из ненагруженной зоны								
Срок эксплуатации 17 лет								
1,61	1,42	13,7	0,914	22	0,039	5,2	0,0141	37,1
Срок эксплуатации 23 года								
1,93	1,63	18,1	0,658	22	0,043	5,3	0,0133	17,5
Срок эксплуатации 30 лет								
2,07	1,82	13,4	0,485	30	0,058	6,7	0,0150	22,3

Таблица 2 – Значения усилия разрыва образцов из ненагруженной зоны (Площадка №1)

№ образца	Разрушающее усилие разрыва	Усилие разрыва, г/см ²	Среднее значение разрушающего усилия, г/см ²
1	243,75	39	37,1
2	237,5	38	
3	231,25	37	
4	231,25	37	
5	237,5	38	
6	225	36	
7	218,75	35	
8	231,25	37	
9	225	36	
10	237,5	38	

Таблица 3 – Значения усилия разрыва образцов из нагруженной зоны (Площадка №1)

№ образца	Разрушающее усилие разрыва	Усилие разрыва, г/см ²	Среднее значение разрушающего усилия г/см ²
11	256,25	41	43,8
12	287,5	46	
13	300	48	
14	300	48	
15	256,25	41	
16	262,5	42	
17	262,5	42	
18	281,25	45	
19	268,75	43	
20	262,5	42	

Таблица 4 – Значения усилия разрыва образцов из ненагруженной зоны (Площадка №2)

№ образца	Разрушающее усилие разрыва	Усилие разрыва, г/см ²	Среднее значение разрушающего усилия, г/см ²
21	118,75	19	22,3
22	150	24	
23	137,5	22	
24	131,25	21	
25	150	24	
26	156,25	25	
27	125	20	
28	137,5	22	
29	156,25	25	
30	131,25	21	

Определение изменений прочности индивидуальных контактов между частицами грунта было выполнено в соответствии с ГОСТ 23409.7-78 «Пески формовочные, смеси, формовочные и стержневые. Методы определения прочности на сжатие, растяжение и изгиб».

Таблица 5 – Значения усилия разрыва образцов из нагруженной зоны (Площадка №2)

№ образца	Разрушающее усилие разрыва	Усилие разрыва, гр/см ²	Среднее значение разрушающего усилия, г/см ²
31	175	28	29,4
32	187,5	30	
33	193,75	31	
34	200	32	
35	181,25	29	
36	175	28	
37	187,5	30	
38	175	28	
39	193,75	31	
40	168,75	27	

Таблица 6 – Значения усилия разрыва образцов из ненагруженной зоны (Площадка №3)

№ образца	Разрушающее усилие разрыва	Усилие разрыва, г/см ²	Среднее значение разрушающего усилия, г/см ²
1	93,75	15	17,5
2	100	16	
3	93,75	15	
4	125	20	
5	100	16	
6	112,5	18	
7	118,75	19	
8	106,25	17	
9	125	20	
10	118,75	19	

Таблица 7 – Значения усилия разрыва образцов из нагруженной зоны (Площадка №3)

№ образца	Разрушающее усилие разрыва	Усилие разрыва, г/см ²	Среднее значение разрушающего усилия, г/см ²
11	162,5	26	23,9
12	168,75	27	
13	150	24	
14	137,5	22	
15	156,25	25	
16	156,25	25	
17	137,5	22	
18	125	20	
19	143,75	23	
20	156,25	25	

В ходе экспериментов было выявлено, что усилие разрыва изменяется в пределах от 93,75 до 300 г/см².

На графиках, представленных выше, особенно чётко видны зависимости изменения усилия разрыва от срока эксплуатации здания.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

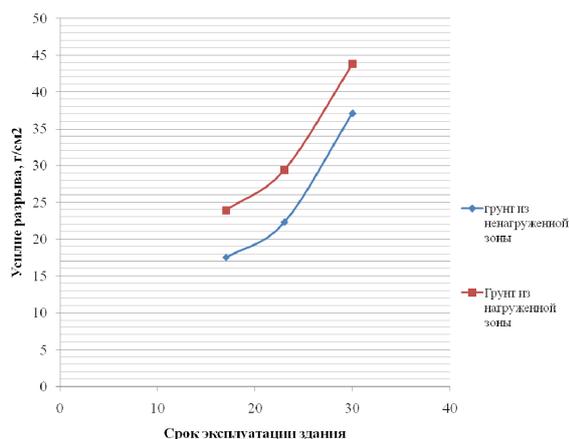


Рисунок 13 – График зависимости усилия разрыва от срока эксплуатации здания

В результате проделанной работы были подтверждены следующие закономерности:

- усилие разрыва увеличивается с увеличением плотности грунта;
- с увеличением срока эксплуатации плотность основания увеличивается;

- с увеличением срока эксплуатации усилие разрыва увеличивается.

Для наглядного представления протекающих химических процессов в глинистых грунтах была сводная таблица 8, в которой отображены результаты вытяжки из просадочного грунта.

Анализируя данные таблицы 8, получены следующие выводы:

- концентрации ионов натрия в зоне, подвергшейся техногенным воздействиям, уменьшилась на 20% по сравнению с зоной, не подвергшейся нагрузкам;
- концентрация ионов кальция в зоне, подвергшейся техногенным воздействиям, увеличилась на 30% по сравнению с зоной, не подвергшейся техногенным воздействиям;
- водородный показатель pH в зоне, подвергшейся техногенным воздействиям, уменьшился на 2% по сравнению с зоной, не подвергшейся нагрузкам.

Таблица 8 – Результаты вытяжки из просадочного лессового грунта

№ п/п	Определяемый показатель	Ед. изм.	Супесь, ненагруженная зона	Супесь, нагруженная зона	Суглинок, ненагруженная зона	Суглинок, нагруженная зона	НД на метод анализа
1.	Водородный показатель	ед. pH	7,38±0,42	7,22±0,41	7,89±0,45	7,74±0,44	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
4.	Кальций	мг/дм ³	14,2±0,71	20,4±1,02	22,8±1,14	24,0±1,20	ГОСТ 23268.5-72
7.	Натрий	мг/дм ³	26,0±3,9	21,0±3,1	30,0±4,5	24,0±3,6	ПНД Ф 14.1:2:4.138-98

Таким образом, под влиянием длительного техногенного воздействия (давление от фундамента) в массиве грунта наблюдается перемещение ионов кальция из ненагруженной в нагруженную зону, и перемещение ионов натрия из нагруженной в ненагруженную зону. Вследствие этого между частицами исследуемых пылевато-глинистых грунтов в нагруженной зоне возникает кристаллизационная связь с удалением ионов натрия и привнесением ионов кальция, и, как следствие, уменьшение их электропроводности и соответственно водородного показателя pH. Миграция ионов натрия и кальция приводит к увеличению прочности индивидуальных контактов между частицами и, в совокупности, удельного сцепления грунта.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований выявлено формирование новой, более прочной структуры лессового грунта оснований зданий при их длительной эксплуатации. При этом формирование новой структуры за счет изменения минералогического состава грунтов оснований, как показывают исследования многих авторов не происходит.

По нашему мнению причиной структурных изменений в основаниях длительно эксплуатируемых зданиях является – синерезис (процесс старения). Явление синерезиса выражается в увеличении прочности сцепления частиц лессовых глинистых грунтов в результате утончения прослоев дисперсной среды в местах их контактах, с ее отделением и уменьшением общего объема структурной системы.

Увеличение прочности структуры происходит за счет увеличения площади контактов частиц и протекающих химических процессов. Процесс старения присущ всем дисперсионным глинистым системам, и что не мало важно, является самопроизвольным. Скорость процесса старения определяется: свойствами соприкасающихся поверхностей, давлением прилипания, формой и размером частиц, толщиной жидкостной прослойки, ее расклинивающим действием и временным фактором. Все это определяет скорость скачкообразного уменьшения толщины пленок дисперсионной среды между частицами лессового глинистого грунта. Синерезис обуславливается действием молекулярных сил притяжения между частицами глинистых лессовых грунтов, которые приводят к ориентации и сближению частиц одновременно с уменьшением толщины сольватных оболочек и выжиманием дисперсионной среды за пределы дисперсионной системы. Это при определенном сроке эксплуатации зданий (20 лет) приводит к резкому образованию более прочной структуры.

Проведенные исследования позволили получить региональные эмпирические зависимости изменения свойств лессовых грунтов в основаниях длительно эксплуатируемых зданий и сооружений. В целом для лессовых грунтов оснований длительно эксплуатируемых зданий естественной влажности получены эмпирические зависимости с высоким коэффициентами корреляции, что доказывает статистическую связь близкую к функциональной.

В настоящее время имеется ограниченное число работ, в которых бы вопросы проектирования оснований и фундаментов реконструируемых и восстанавливаемых зданий рассматривались комплексно, с учетом особенностей изменения физико-механических характеристик грунтов при длительной эксплуатации зданий и фактического напряженно-деформированного состояния грунтов оснований.

Но прогнозирование изменений свойств лессовых глинистых грунтов, и как следствие, возможность увеличения нагрузки на существующие фундаменты без их реконструкции проделано впервые.

УДК 624.131.23

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ РЕГИОНА

М.А. Осипова

Представлены результаты исследований прочностных и деформационных свойств лессовых грунтов, на основании которых составлены региональные таблицы характеристик физико-механических свойств лессовых пород Западной Сибири, региональная инженерно-геологической классификации лессовых грунтов.

Ключевые слова: грунт, классификация, деформационные и прочностные характеристики, структурная прочность.

В инженерной геологии нет единой общепринятой классификации горных пород. Это связано с недостаточной изученностью их свойств и трудностью одной классификацией удовлетворить разнообразные требования строительной практики.

Вопросами классификации горных пород в инженерной геологии занимались Е.М. Сергеев, Ф.П. Саваренский и др. По мнению многих исследователей классификация горных пород необходима:

- для разделения многообразия горных пород, встречающихся в природе, на такие таксонометрические единицы, которые различаются по своим строительным свойствам,

что бы пользуясь классификацией, можно было предварительно оценить инженерно-геологические особенности изучаемой территории;

- для построения инженерно-геологических карт, разрезов, схем;

- для определения методики и направления инженерно-геологического изучения горных пород;

- для выбора методики улучшения строительных свойств горных пород.

Классифицировать горные породы в первую очередь необходимо для районов имеющих сложные инженерно-геологические условия и большое разнообразие видов и