

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

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ РЕГИОНА

типов нагрузок при наземном и подземном строительстве в городах и более мелких населенных пунктах.

В настоящее время инженерно-геологическими организациями выполнен значительный объем исследований деформационных и прочностных свойств лессовых грунтов в различных регионах нашей страны, в том числе на юге Западной Сибири.

Поэтому представляется возможным произвести обобщение результатов этих исследований и на этой основе создать региональные таблицы механических характеристик лессовых грунтов. Ценность таких таблиц заключается в том, что они отражают инженерно-геологические особенности региона и, с другой стороны, позволяют значительно уменьшить объем инженерно-геологических изысканий. Кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлтГТУ им. И.И. Ползунова совместно с ОАО «АлтайТИСИЗ» в течении ряда лет проводилась работа по систематизации и статическому обобщению механических характеристик лессовых пород Верхнего Приобья. Результаты этой работы внедрены в практику проектирования оснований зданий и сооружений на лессовых грунтах Верхнего Приобья.

Работа выполнялась в 2 этапа. На первом этапе статическому обобщению подвергались модули общей деформации, величина угла внутреннего трения и удельное сцепление лессовых грунтов естественной влажности, на втором – обобщались механические характеристики для лессовых грунтов в водонасыщенном состоянии.

Статистическое обобщение модулей общей деформации лессовых грунтов производилось после уточнения их величин и группировки по видам грунта, степени влажности и действующим давлениям [8]. Определение величин модулей общей деформации производилось по результатам компрессионных испытаний.

Особое внимание уделялось качеству компрессионных испытаний. Модули деформации определялись по тем компрессионным кривым, качество которых не вызывало сомнений.

Как показали результаты исследований, величина модуля общей деформации лессовых грунтов в пределах региона зависит, в основном, от вида грунта, коэффициента пористости, влажности и действующих напряжений, это подтверждается и результатами исследований других авторов. При этом увеличение влажности обуславливает наиболее интенсивное увеличение деформируемости лессовых пород.

Статистическое обобщение величин модулей общей деформации производилось с учетом указанных факторов. В пределах каждого вида грунта (супесей или суглинков)

грунты подразделялись на маловлажные и влажные.

Для каждого вида грунта модули деформации разбивались по диапазонам напряжений (0,1-0,2; 0,1-0,3; 0,2-0,3 МПа).

Статистическое обобщение производилось отысканием уравнений регрессии способом последовательных уточнений. Полученные результаты приведены в таблице 1.

По аналогичной методике обобщались значения углов внутреннего трения и удельного сцепления лессовых пород.

На втором этапе производилось статистическое обобщение модулей общей деформации, углов внутреннего трения и удельного сцепления лессовых водонасыщенных суглинков как наиболее распространенных на территории Верхнего Приобья.

В основу статистического обобщения было положено отыскание корреляционной зависимости между величинами удельного сцепления, углов внутреннего трения и коэффициента пористости как обуславливающей наиболее высокую тесноту связи для исследуемых суглинков. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

В целом для лессовых грунтов Верхнего Приобья как естественной влажности, так и водонасыщенном состоянии получены корреляционные зависимости с высокими корреляционными отношениями (0,95-0,99) или коэффициентами корреляции (0,955-0,995), что свидетельствует о правильности выбора показателей физико-механических свойств лессовых грунтов в качестве переменных в уравнениях регрессии. Одновременно можно заключить, что определяемые по корреляционным зависимостям модули общей деформации, углы внутреннего трения и удельные сцепления можно рассматривать как достоверные величины и, следовательно, их можно использовать для составления таблиц механических характеристик лессовых пород Верхнего Приобья.

В продолжении выполненных исследований по систематизации деформационных и прочностных характеристик грунтов региона на кафедре «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлтГТУ им. И.И. Ползунова были проведены исследования структурной прочности лессовых грунтов, с целью разработки региональной инженерно-геологической классификации лессовых грунтов Приобского плато.

Таблица 1

Наименование грунта	Степень влажности	Диапазон напряжений, МПа	Уравнение регрессии $Y=f(z)$	$z = f(e)$	$Y = f(E)$	Корреляционное отношение	Среднеквадратичное отклонение, МПа
Супесь лессовая	< 0,5	0,1 – 0,2	$-9,4+34,9z$	$20e - 12,5$	$E - 92$	0,988	0,44
	< 0,5	0,1 – 0,3	$-10,9z+7,2z$	$20e - 12,5$	$E - 77$	0,987	0,51
	< 0,5	0,2 – 0,3	$-1,05z^2-2,7+25,1$	$20e - 12,5$	$E - 86$	0,997	0,19
	0,5–0,8	0,1 – 0,2	$0,7z^3+9,7z^2+71-4,5z$	$20e - 9,5$	$E - 86$	0,979	0,49
	0,5–0,8	0,1 – 0,3	$-0,67z^2-4,7z+29,6$	$20e - 9,5$	$E - 96$	0,998	0,16
	0,5–0,8	0,2 – 0,3	$1,2z^2-0,22z+20,4$	$20e - 11,5$	$E - 78$	0,995	0,26
Суглинки лессовые	< 0,5	0,1 – 0,2	$18,5z+59,7$	$20e - 12,5$	$E - 113$	0,902	0,60
	< 0,5	0,1 – 0,3	$3,3z^2-41,3z+90$	$20e - 12,5$	$E - 113$	0,995	0,51
	< 0,5	0,2 – 0,3	$-20,4z+56,4$	$20e - 12,5$	$E - 110$	0,993	0,44
	0,5–0,8	0,1 – 0,2	$-13,3z+40,9$	$20e - 13,5$	$E - 90$	0,990	0,33
	0,5–0,8	0,1 – 0,3	$-12,3z+50,5$	$20e - 12,5$	$E - 86$	0,950	0,92
	0,5–0,8	0,2 – 0,3	$-0,66z^2-4,5z+39,8$	$20e - 10,5$	$E - 92$	0,990	0,44

Таблица 2

Наименование грунта	Кол-во экспериментальных данных	Степень влажности	Уравнение регрессии $y = f(z)$	$Z = f(e)$	$y = f(c)$ или $y = f(\phi)$	Корреляционное отношение	Среднеквадратичное отклонение
Супесь лессовая	384	> 0,5	$0,0352 - 0,0089z$	$20e - 12,5$	$c - 0,2008$	0,942	0,0017 кг/см <sup>2</sup>
	1237	≤ 0,5	$0,0149 - 0,00058z$	$20e - 12,5$	$c - 0,2217$	0,855	0,0017 кг/см <sup>2</sup>
	607	≤ 0,5	$1,4330 - 0,4104z$	$20e - 10,5$	$\phi - 22,74$	0,986	0,16 <sup>0</sup>
	1645	≤ 0,5	$1,9463 - 0,3877z$	$20e - 10,5$	$\phi - 22,78$	0,990	0,10 <sup>0</sup>
Суглинок лессовый	1321	> 0,5	$0,0603 - 0,0131z$	$20e - 10,5$	$c - 2,2902$	0,980	0,002 кг/см <sup>2</sup>
	1870	≤ 0,5	$0,0564 - 0,0128z$	$20e - 11,5$	$c - 0,2869$	0,990	0,004 кг/см <sup>2</sup>
	1405	≤ 0,5	$0,8709 - 0,1813z$	$20e - 10,5$	$\phi - 21,58$	0,990	0,18 <sup>0</sup>
	1824	≤ 0,5	$1,0246 - 0,1778z$	$20e - 11,5$	$\phi - 21,71$	0,970	0,11 <sup>0</sup>

Таблица 3

Класс	Тип грунта	Разновидность грунта	$\rho_{str}$ , МПа	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	e	W <sub>i</sub> , %	W <sub>p</sub> , %	I <sub>p</sub> , %	$\phi$ , град.	c, МПа	E, МПа	
Озерно-аллювиальные верхне-плотен-четвертичные отложения	Суглинок лессовый	твердый	0,058	2,71	1,94	10,1	0,58	24	16	8	23	0,034	4,8	
			0,048	2,71	1,84	9,3	0,67	25	18	7	23	0,032	4,8	
			0,030	2,71	1,64	12,9	0,82	24	17	7	22	0,022	4,6	
			0,024	2,71	1,58	15,2	0,87	24	17	7	21	0,019	4,6	
		полутвердый	0,032	2,71	1,96	17,1	0,63	24	16	8	22	0,031	4,5	
			0,026	2,71	1,82	17,8	0,72	24	17	7	21	0,027	3,0	
			0,029	2,71	1,98	19,0	0,62	24	17	7	22	0,030	3,3	
			0,025	2,71	1,90	20,0	0,69	25	18	7	21	0,026	3,1	
	Супесь лессовая	тугопластичный	0,020	2,71	1,82	20,2	0,78	24	17	7	21	0,023	2,8	
			твердая	0,062	2,70	1,94	10,1	0,50	22	17	5	24	0,026	5,0
				0,051	2,70	1,87	9,0	0,61	25	19	6	24	0,023	4,8
				0,042	2,70	1,72	14,8	0,70	22	17	5	23	0,021	4,8
		0,036		2,70	1,70	12,4	0,76	24	18	6	23	0,020	4,8	
		пластичная	0,027	2,70	1,60	15,2	0,85	25	19	6	22	0,018	4,8	
			0,049	2,70	1,92	16,2	0,60	22	16	6	23	0,020	3,5	
			0,040	2,70	1,84	17,2	0,69	23	17	6	22	0,019	2,4	
0,035	2,70		1,79	16,8	0,74	22	146	6	21	0,016	2,4			
0,025	2,70	1,68	17,5	0,84	23	17	6	19	0,015	2,1				

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ РЕГИОНА

Для определения структурной прочности испытание грунта проводилось методом компрессионного сжатия. Для более точного построения компрессионных кривых все ступени давления принимались равными 0,0025 МПа. Все компрессионные кривые имели идентичное очертание – криволинейное с начальным участком, отличающимся незначительным приращением деформации с ростом вертикальных давлений, это обусловлено наличием у лессовых грунтов прочных структурных связей. Пока внешняя нагрузка воспринимается скелетом грунта, деформации образца незначительные. Как только действующее давление превышает прочность структурных связей – структурную прочность грунта, деформации образца увеличиваются. Математическая аппроксимация компрессионных кривых выполнялась на основе статистического обобщения результатов компрессионных испытаний твердых, полутвердых, тугопластичных лессовых суглинков и твердых и пластичных супесей. В основу статистического обобщения экспериментальных данных было положено отыскание корреляционных зависимостей начального коэффициента пористости от действующего давления в диапазоне 0,0-0,3 МПа. Все уравнения описывались степенной зависимостью с коэффициентом корреляции 0,94-0,99. Полученные корреляционные уравнения использовались для определения точек перегиба графиков  $e = f(p)$ , т.е. предела структурной прочности лессовых грунтов. Для этого брали

вторую производную полученных корреляционных зависимостей и приравняли ее к нулю, после чего были получены корни решений этих дифференциальных уравнений. Первый корень соответствует величине структурной прочности.

### ВЫВОДЫ

Полученные результаты исследований структурной прочности лессовых грунтов позволяют рекомендовать использовать данный показатель при разработке региональной инженерно-геологической классификации лессовых грунтов (таблица 3). В основу классификации положены следующие принципы: генезис, состав, состояние и структурная прочность лессовых грунтов.

Дальнейшей перспективой исследований должно быть закрепление комплексного подхода оценки деформируемости лессовых оснований с разработкой практических методов расчета осадок и просадок, основанных на использовании механических моделей, учитывающих генетические и структурно-текстурные особенности лессовых пород. Внедрение таких моделей с отражением их в нормативной литературе позволит рассчитать достоверную величину деформации лессового основания и на этой основе определять тип рациональной конструкции фундаментов.

УДК 69 + 624.131.6 (0.8374)

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДТОПЛЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

О.Н. Романенко

*В статье приведена методика расчета коэффициента риска подтопления территории. Вследствие подтопления территории начинают проявляться негативные процессы, что приводит к необходимости характеризовать возникающую опасность как качественно, так и количественно.*

*Ключевые слова: геологическая среда, подтопление, уровень грунтовых вод, природные и техногенные факторы, коэффициенты опасности, уязвимости и риска подтопления.*

Подтопление городов, активно развивающееся в любых климатических условиях, сопровождается масштабными экологическими последствиями и наносит ущерб здоровью населения. Острота проблемы наиболее высока на сильно урбанизированных территориях, где концентрация населения

сочетается с наличием мощных источников вредного воздействия на окружающую среду. Так, подтопление от 80 до 100% площади урбанизированных территорий, характерное для Ярославской, Самарской, Саратовской, Краснодарской, Барнаульской и Новосибирской агломераций, приводит к существенному