

УДК 624.131.43

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-250-259

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ НА СВОЙСТВА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКОВ

О. Н. Осипова, А. А. Волошин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Аннотация. Рассматриваются некоторые физико-механические свойства лессовидных суглинков, характерных для города Новочеркаска, полученные по данным инженерно-геологических изысканий на ряде строительных площадок города, которые расположены, в основном, на водораздельной части Новочеркасского холма на второй и третьей надпойменных террасах; свойства делювиальных суглинков склонов в данной работе не рассматривались. На основании лабораторных испытаний произведен анализ изменения характеристик грунтов с учетом повышения влажности.

Ключевые слова: грунты, лабораторные испытания, степень влажности, просадочность, деформация, прочность

THE INFLUENCE OF CHANGES IN MOISTURE REGIME ON THE PROPERTIES OF LOESS-LIKE LOAM

O. N. Osipova, A. A. Voloshin

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Annotation. This article examines some of the physical and mechanical properties of loess-like loams characteristic of Novocherkassk, obtained from engineering and geological surveys at several construction sites in the city, primarily located on the watershed portion of Novocherkassk Hill on the second and third floodplain terraces. The properties of colluvial loams on the slopes were not considered in this study. Laboratory tests were used to analyze changes in soil characteristics with increasing moisture content.

Keywords: soils, laboratory tests, moisture content, subsidence, deformation, strength

Введение

Определение физико-механических свойств грунтов для решения многих практических задач в строительстве является важной составляющей, которая влияет на проектирование объекта, а также на ведение и ход строительных работ в целом. Если рассматривать разные виды грунтов то, конечно, наибольшее влияние на изменение характеристик глинистых грунтов влияет повышение влажности. В глинистых грунтах наблюдается резкое изменение свойств в зависимости от степени влажности. Как правило, сухие глинистые породы ведут себя как твердые тела. С увеличением влажности они постепенно теряют свою первоначальную прочность, переходят в пластичное состояние, а при сильном переувлажнении отдельные их разности могут течь практически как жидкое тело, т. е. полностью потерять прочность.

Лессовидные суглинки покрывают поверхность красно-бурых глин, поэтому мощность суглинков изменяется в зависимости от неровностей рельефа глин. Наибольшую мощность (до 20 м) суглинки имеют на возвышенной части холма и на надпойменных террасах. В толще лессовидных суглинков на большинстве площадок, можно выделить два горизонта. Суглинок верхнего горизонта буровато-желтого цвета со значительным содержанием углекислого кальция и ходами землероев. Текстура столбчатая, при высыхании суглинок делится вертикальными трещинами на призматические отдельности. Влажность в этом слое изменяется в широких пределах, так как мощность его невелика — 2,0–3,0 метра, и при вертикальных трещинах в нем скорее сказывается влияние различных факторов – осадок, влажности, воздуха, производственных вод и т. д.

Наиболее важными характеристиками строительных свойств грунтов является сжимаемость и сопротивление сдвигу. В лессовых грунтах при повышении влажности возникают просадочные явления.

Основная часть

Для определения механических свойств грунтов [1], анализа данных, а также их изменения от влажности, группой авторов проведена серия опытов в лаборатории Механика грунтов, строительного факультета ЮРГПУ(НПИ). Исследовались лессовидные суглинки, характерные для г. Новочеркасск, образцы отбирались с учетом всех требований [2].

Кривая зависимости величины относительной просадочности от начальной влажности представлена на рис. 1 (по результатам опытов группы авторов Новочеркасской школы «Механика грунтов»).

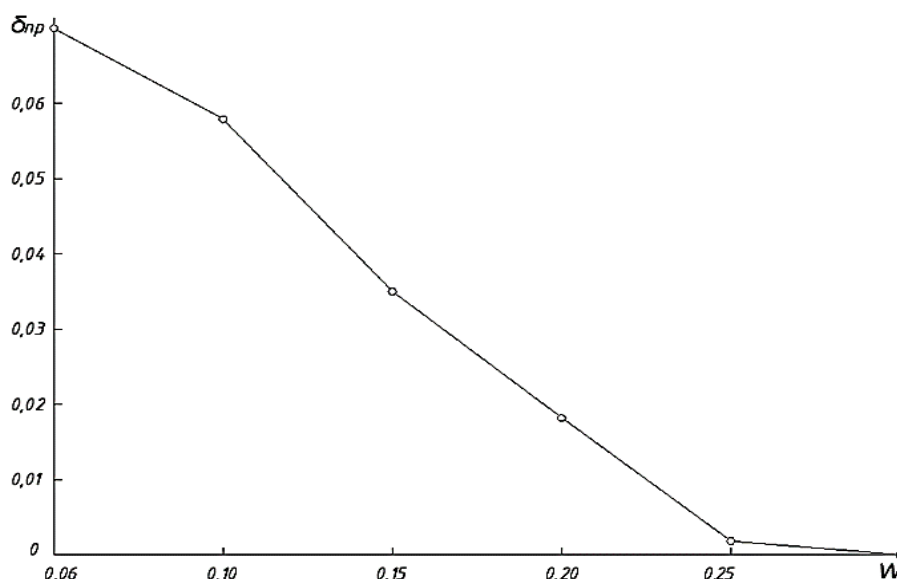


Рис. 1. Кривая зависимости величины относительной просадочности от начальной влажности

В основу графика положены данные обработки результатов компрессионных кривых лессовидных суглинков площадок г. Новочеркасска с близкими значениями начальной пористости. При влажности 0,19–0,20 относительная просадочность уменьшается до 0,02, при увеличении влажности выше 0,19–0,20, лессовидные суглинки теряют свои просадочные свойства.

В опытах начальная влажность в среднем была 0,16–0,18, следовательно, на основании представленных опытов и анализа исследования грунтов на других площадках, лессовидные суглинки относятся к I типу грунтовых условий по просадочности. Начальное давление, при котором начинают проявляться просадочные свойства, можно считать равным 1,2–1,3 кг/см².

Кроме относительно быстро протекающих дополнительных осадков при замачивании у лессовидных суглинков наблюдались медленно протекавшие осадки при длительном замачивании.

Важным является вопрос о влиянии начальной влажности лессовидных суглинков на их сжимаемость. Как известно, характеристикой сжимаемости грунтов является модуль деформации E , кг/см², вычисляемый по значениям начального коэффициента пористости и коэффициента сжимаемости. Влияние естественной влажности на величину коэффициента сжимаемости изучалось путем анализа данных компрессионных испытаний образцов суглинков, поставленных в лаборатории. Грунты доводились до заданной начальной влажности, а затем подвергались компрессионным испытаниям. Подбирались грунты с близкими значениями пористости; подготовка их для получения заданной влажности производилась тем же способом, как и для определения характеристик сдвига. Компрессионные испытания проводились по общепринятой методике. Коэффициент сжимаемости и модуль деформации определялись в пределах нагрузок, равных бытовому давлению и давлению 3,0 кг/см².

Результаты определения зависимости модуля деформации от влажности представлены на рис. 2.

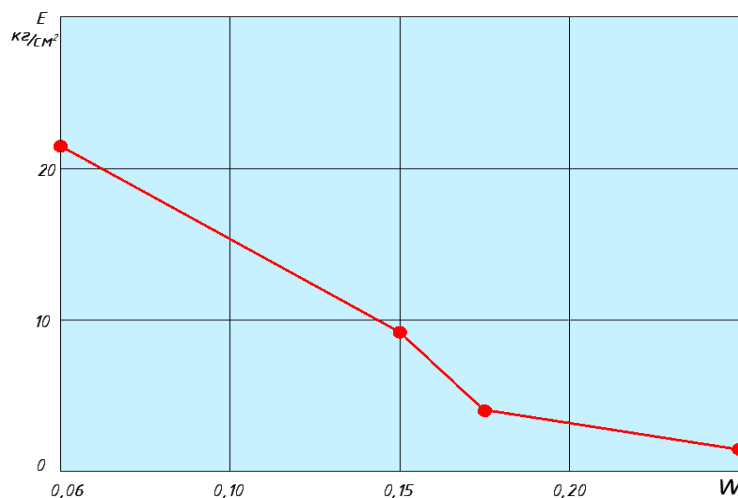


Рис. 2. Изменение модуля деформации от изменения влажности

Величина начальной влажности очень влияет на величину сжимаемости. Анализируя данные кривых зависимости относительной просадочности, можно отметить, что влажность 0,20–0,22 является переломной. При повышении влажности выше этой величины резко повышается просадочность и увеличивается сжимаемость.

Вопрос о характеристиках сдвига является основным при определении нормативного давления на грунты оснований, т. е. при оценке их прочности. Характеристики сдвига (значение угла внутреннего трения и сцепления) необходимы при определении нормативного давления по формуле

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c C_{II}].$$

Необходимо выполнить условие $p \leq R$ (в пределах 10 %÷15 %). Таблица СП дает нормативные и расчетные характеристики ϕ и c .

Только при условии полного заполнения пор водой, т.е. без учета возможного изменения влажности. Кроме этого, таблица вообще не дает характеристик сдвига для лессовидных суглинков, имеющих высокие коэффициенты пористости ($e > 0,7$) и небольшие значения числа пластичности.

Наибольшее влияние при проектировании и строительстве на лессовидных грунтах уделяется характеристикам просадочности. Лессовидные грунты, замоченные поверхностными или грунтовыми водами, теряют просадочные свойства, но вместе с тем уменьшается их прочность и несущая способность. Следовательно, изменение их влажности значительно влияет на величину нормативного давления. Поэтому для определения угла внутреннего трения и сцепления при различной влажности для одного и того же лессовидного суглинка проведен ряд опытов.

Естественная влажность грунтов, а тем более лессовидных суглинков в зависимости от ряда факторов подвержена большим колебаниям [3]. Инженерная деятельность, изменяя природные условия существования грунтов, часто ускоряет процесс изменения влажности. Снятие почвенно-растительного слоя, инфильтрация воды в грунт, возникающая вследствие неправильного устройства и эксплуатации водонесущих устройств, отсутствие планировки строительных площадок и т. д. часто приводят к изменению режима влажности грунтов. Вначале влажность увеличивается в верхних слоях толщи лессовидных суглинков, дальнейшее поступление воды приводит к подъему уровня грунтовых вод. Прочность грунтов зависит от изменения влажности. Проектировщики при определении нормативного давления не учитывают возможности изменения режима влажности, а, следовательно, и прочности грунтов.

В нашу задачу входило определение влияния изменения природной влажности на величину нормативного давления.

Так как сопротивляемость сдвигу — величина переменная (не только для различных грунтов, но и для одного и того же вида грунта), в зависимости от ряда факторов: глубины, влажности, включение солей и т. д., то особую трудность представил отбор монолита грунта однородного строения. Грунт отбирался на глубине 2,0–2,5 м. Так как лессовидные суглинки пронизаны ходами червей и скопления солей, то выбрали такой участок, где они были расположены более или менее равномерно. Размер монолита $\varnothing$ 11 см, h 15 см. Внешне грунт представляет собой типичный лессовидный суглинок желтого цвета с ходами земляных червей разбросанными скоплениями углекислого кальция и редкими кристаллами гипса. Основные физические характеристики грунта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Природная влажность W	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Плотность ρ , г/см ³	Пористость n , %	Коэффициент пористости e
0,14	2,71	1,71	44,5	0,800

Характеристики грунтов определялись по общепринятой методике. Грунт в естественном состоянии имел влажность $W = 0,14$. По программе опытов предполагалось определять угол внутреннего трения и сцепление в возможно наибольшем диапазоне влажности. Выполнено 4 опыта при влажности от 0,06 до 0,25.

Так как лессовидные суглинки при высыхании дают усадку и трещины, а при замачивании могут немного набухать и увеличиваться в объеме, нами была применена методика получения заданной влажности, при высушивании и замачивании грунтов с возможно наименьшим нарушением структуры. Образцы грунтов отбирались сначала в кольца, отобранный грунт взвешивали вместе с кольцом, определяли исходную влажность, затем грунт или высушивали, или замачивали, получали заданную влажность, а затем переносили в сдвиговой прибор [4].

При замачивании на дно широкого плоскодонного сосуда укладывался слой чистого крупнозернистого песка толщиной 2 см, на него стелили 3–4 слоя фильтровальной бумаги. На эту подготовку устанавливали кольца с грунтом, покрытых с обеих сторон кружками фильтровальной бумаги. Затем на кольца в обратном порядке укладывали фильтровальную бумагу и песок слоем толщиной 5 см, т. е. создавали некоторую пригрузку. На дно сосуда наливают воду так, чтобы она непосредственно не касалась грунта (замачивание через фильтровальную бумагу). Кольца с грунтом и кружками фильтровальной бумаги периодически (примерно раз в сутки) взвешивали до получения заданной влажности. После этого кольца с грунтом переносили в сдвиговой прибор одноплоскостного статического среза ГТ 1.2.9, где они уплотнялись заданным давлением и подвергались сдвигу (результат показан на рис. 3–7).

Новое испытание

Выбор схемы нагружения.
Установите параметры схемы нагружения для Метод одноплоскостного среза Консолидированно-дренажное испытание

Схема нагружения: Схема нагружения 1 Добавить схему Удалить схему

Нормальное давление (кПа): 100

Время предварительного уплотнения (ч:мин:с): 0:10:00

Величина ступени касательной нагрузки (%): 10,00

Условная стабилизация деформации среза

Время (ч:мин:с): 0:05:00

Параметр (мм): 0,50

Предельная деформация среза (мм): 5,00

Рис. 3. Исходные данные (пример)

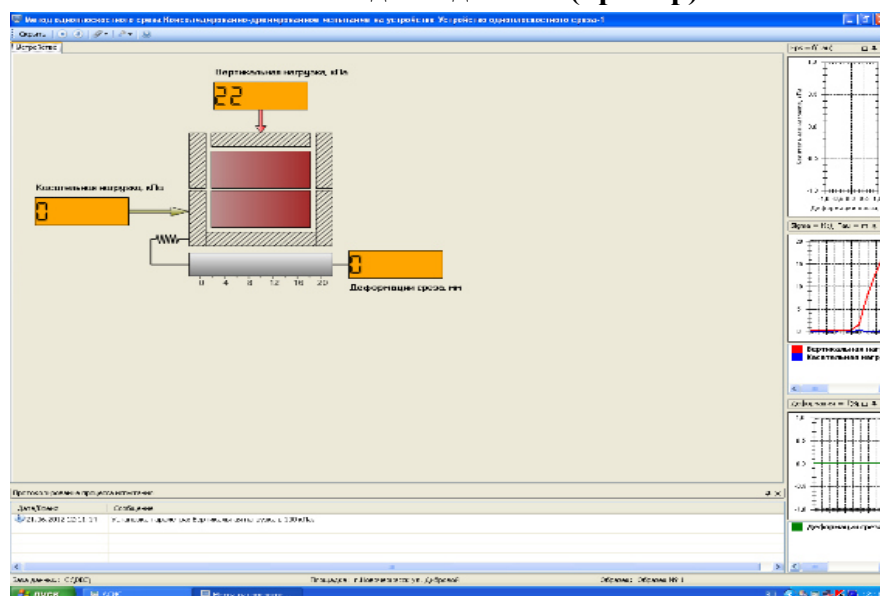


Рис. 4. Обжимающая начальная вертикальная нагрузка

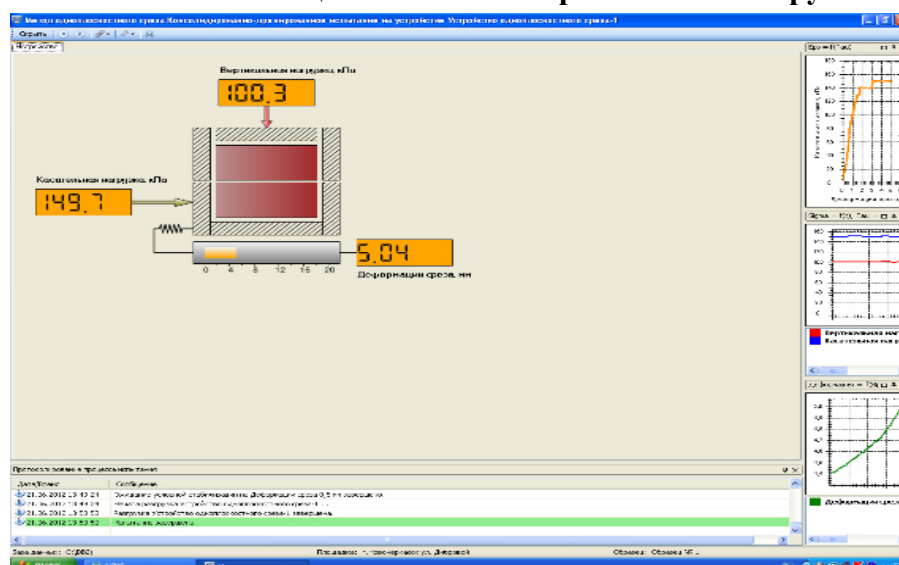


Рис. 5. Сдвиг при вертикальной нагрузке 100,3 кПа

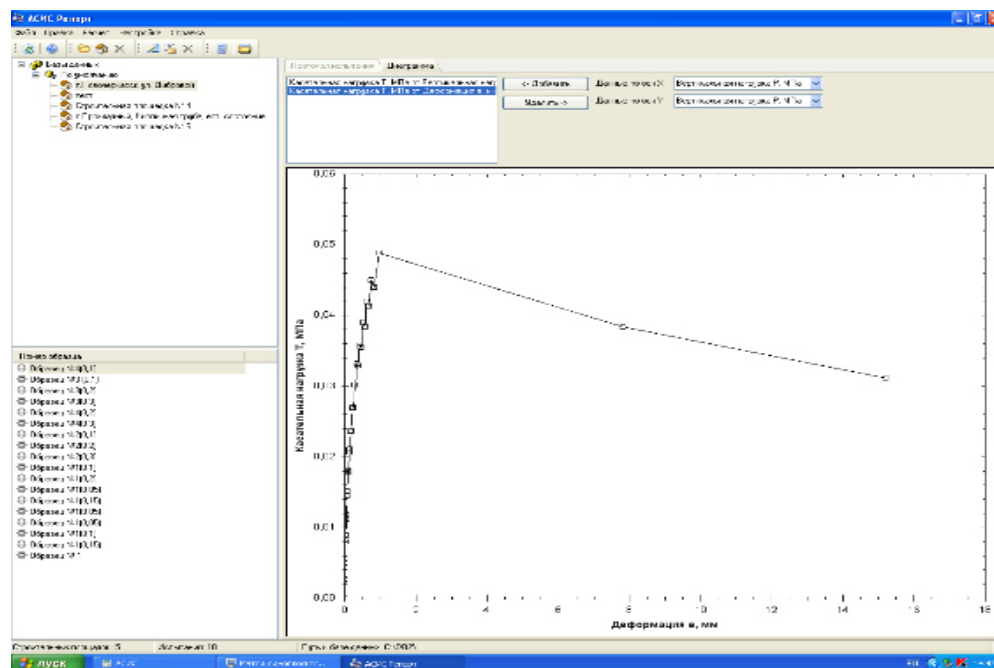


Рис. 6. Сдвигающие усилия при естественной влажности

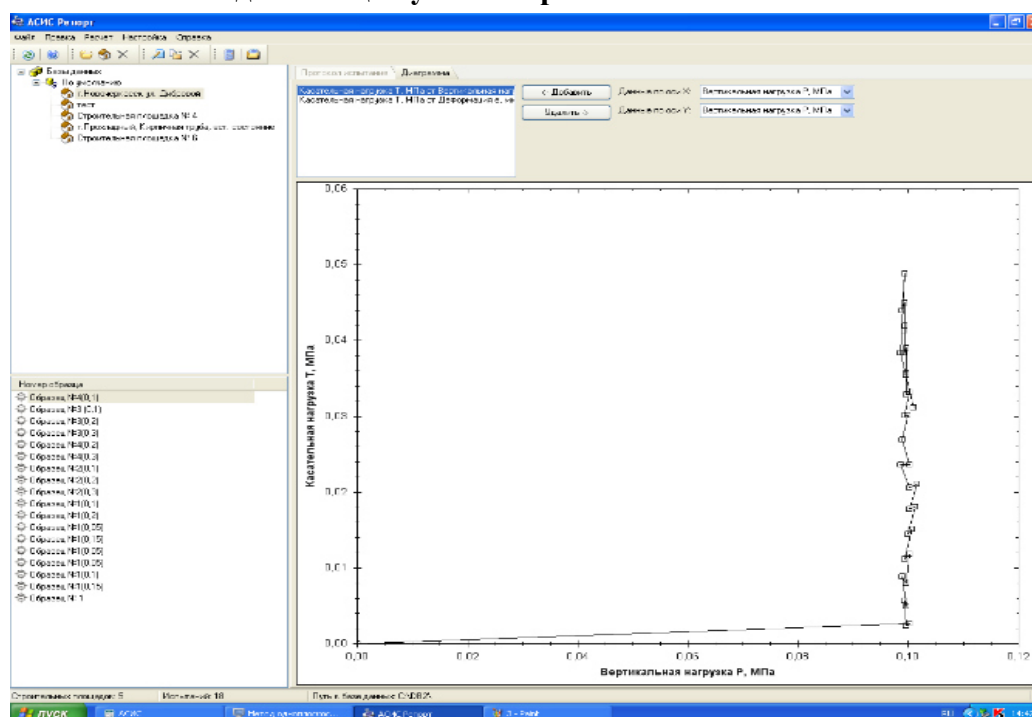


Рис. 7. Нагрузка

Так же, как и для замачивания, подготавливали образцы грунтов для высушивания, затем взвешивали и вместе с поддоном помещали в сушильный шкаф. Кольца с грунтом периодически взвешивали до получения заданной влажности и подвергали сдвигу. Подготовленные таким образом образцы грунтов не имели трещин или каких-либо видимых изменений структуры или объема.

Предварительное уплотнение и сдвиг производились в сдвиговом приборе ГТ 1.2.9.



Рис. 8. Проведение опыта

Уплотняющие нагрузки 1,0; 2,0 и 3,0 кг/см² (100, 200 и 300 кПа) выдерживались до стабилизации осадки, что занимало 4–6 часов. Высота кольца для грунта была 3,5 см, а площадь 140 см². Всего было проведено 4 испытания грунтов при различной влажности (табл. 2). Благодаря тщательной подготовке образцов, разброс результатов, вызываемой неоднородностью сложения грунта и возможными недостатками прибора, был незначителен.

Влажность грунтов определялась дважды: перед загрузкой в приборы (заданная влажность) и после каждого сдвига. В табл. 2 даны средние значения влажности по каждому опыту после сдвига.

Таблица 2

Влажность W	Сцепление c , кг/см ²	Угол внутреннего трения φ°
0,06	3,04	26°
0,15	1,20	23°30′
0,175	0,70	21°
0,25	0,26	18°

Если предположить, что часть прилагаемого сдвигающего усилия идет на преодоление трения металла в приборе, т.е. сдвигающее усилие несколько завышено, то уменьшение прочности грунта идет в основном за счет уменьшения сил сцепления при увеличении влажности.

Увеличение влажности, в соответствии с теорией связанности грунтов, влечет за собой уменьшение и исчезновение кристаллизационно-конденсационных структурных связей за счет растворения солей. Кроме того, увеличение толщины водных пленок на контактах частиц приводит к ослаблению коагуляционно-диспергационных связей. Анализ кривых (рис. 9–11) зависимости величин угла внутреннего трения изменяется значительно меньше, чем сцепление при увеличении влажности. Величина нормативного сцепления имеет большое значение при определении нормативного давления: нормативное давление быстро уменьшается с уменьшением сцепления.

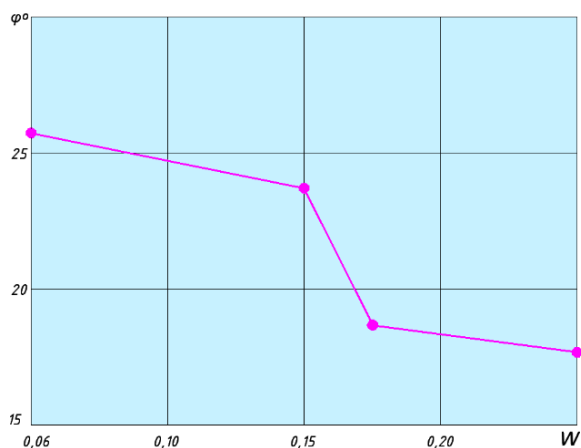


Рис. 9. Зависимость угла внутреннего трения от влажности

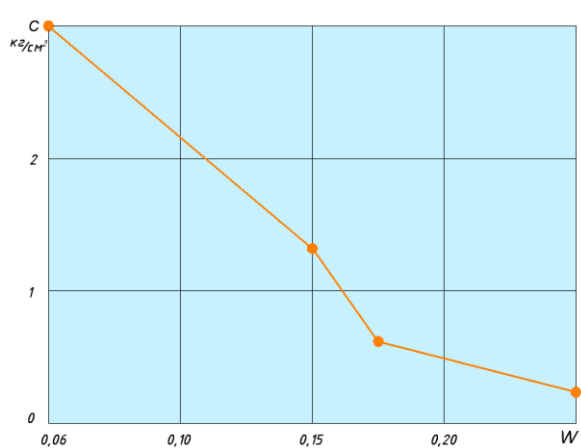


Рис. 10. Зависимость сцепления от влажности

Анализируя данные кривых зависимости угла внутреннего трения и сцепления от влажности, можно прийти к выводу, что увеличение влажности (например, до влажности 0,24–0,25) снижает несущую способность этих грунтов [5]. В природных условиях влажность в этих суглинках может достигать до 0,28–0,30, т. е. несущая способность их очень мала. Просадочные свойства при влажности выше 0,20 исчезают, грунты в этом случае можно с полным правом называть непросадочными, но в этом случае приходится учитывать другую опасность — уменьшение их несущей способности.

По результатам исследования для примера построена кривая изменения расчетного сопротивления грунта от изменения влажности (рис. 11).

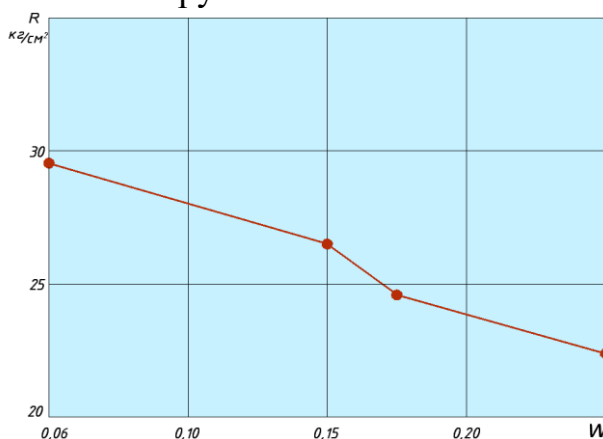


Рис. 11. Зависимость расчетного сопротивления от влажности

Закключение

Лессовидные суглинки г. Новочеркасска теряют просадочные свойства при влажности 0,19–0,22. Сжимаемость грунтов после превышения этой влажности увеличивается.

Суглинки относятся к I типу грунтовых условий по просадочности. Начальным давлением, при котором начинают проявляться просадочные

свойства, является 1,2–1,3 кг/см². Потеря грунтом просадочных свойств после замачивания не улучшает полностью их строительные свойства, так как при большой влажности возрастает их деформативность.

Предварительное замачивание Новочеркасских лессовидных суглинков перед строительством с целью устранения их просадочных свойств должно производиться при влажности 0,20–0,22. Если после замачивания влажность грунта сохранится на длительное время, то деформативность грунта возрастет [6]. Изменение режима влажности в глинистых грунтах г. Новочеркаска, происходящее от замачивания поверхностными водами или от подъема грунтовых вод, влияет на величину расчетного сопротивления грунта. При увеличении влажности расчетное сопротивление уменьшается до величин, меньших, чем среднее давление от нагрузок, принятых в строительстве.

Модуль деформации (а значит коэффициент уплотнения) при увеличении влажности уменьшается почти равномерно и нелинейно. Величина угла внутреннего трения в глинистых грунтах г. Новочеркаска с изменением влажности изменяется значительно резче, чем величина сцепления, а характер изменения так же нелинейный. Расчетное сопротивление грунта уменьшается плавно и нелинейно, и зависит не только от резко изменяющегося угла внутреннего трения, но и от равномерно уменьшающегося сцепления.

Потеря глинистыми грунтами просадочных свойств при замачивании не может полностью благоприятно сказываться на строительных свойствах этих грунтов. Необходимо при проектировании учитывать возможное уменьшение их несущей способности и увеличение деформативности. Значительные деформации зданий и сооружений могут быть объяснены уменьшением прочности замоченных грунтов, особенно, если уровень грунтовых вод непрерывно повышается. В то же время просадочные явления затухают и в грунтах могут происходить только длительные осадки.

Список источников

1. СП 446.1325800.2019. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ.
2. ГОСТ 30416-2020. Грунты. Лабораторные испытания.
3. Мангушев, Р. А. Механика грунтов: учебник / Р. А. Мангушев, В. Д. Карлов, И. И. Сахаров / . – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009 – 264 с.
4. Болдырев, Г. Г. Автоматизированная система для механических испытаний образцов грунта / Г. Г. Болдырев // Основания, фундаменты и механика грунтов. –1991. – № 3. – С. 18-21.
5. Осипова, О. Н. Особенности расчета деформаций оснований фундаментов: учебно-методическое пособие / О. Н. Осипова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2022. – 38 с.
6. Осипова, О. Н. Анализ изменения механических свойств при изменении влажности грунтов / О. Н. Осипова, А. А. Волошин, Н. Г. Царитова // Теория и практика фундаментостроения: сб. тез. докл. XV Междунар. симпозиума по реологии грунтов, посвященного 95-летию КГАСУ и 60-летию каф. «Основания, фундаменты, динамика сооружений и инженерная геология», г. Казань, 4-6 июня 2025 г. – Казань: КГСАУ, 2025. – С. 31-32.

© Осипова О. Н., Волошин А. А., 2026