

## О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОСАДОЧНОСТИ ЛЁССОВИДНЫХ ГРУНТОВ

Ф. П. НИФАНТОВ

(Представлено научным семинаром кафедры гидрогеологии и инженерной геологии)

### Введение

В процессе инженерно-геологических исследований и проектирования зданий на лёссовидных грунтах обычно определяют величину просадки толщи этих отложений [1, 10, 13]. Одновременно с этим в последние годы разработан способ определения реальной просадки проектируемых сооружений, учитывающий просадочность только сжимаемой толщи лёссовидных пород [3, 4, 7, 8, 9]. В расчетные формулы того и другого способа в качестве одной из основных расчетных характеристик входит относительная просадочность лёссовидных грунтов. Правильность определения этой характеристики во многом определяет точность вычисления вероятной просадки толщи и реальной просадки сооружений, а следовательно, правильность и экономность назначения противопросадочных мероприятий, обеспечивающих устойчивость проектируемых зданий.

Несмотря на большое влияние относительной просадочности на конечные результаты расчетов просадки сооружений или толщи грунта, данная характеристика до настоящего времени определяется еще крайне приближенно, разными методами, в различных приборах, при разных условиях опыта и т. д. Естественно поэтому, конечные результаты расчетов, особенно величины просадки толщи, определяемые по Н и ТУ 137—56, являются неточными и не могут служить основой для назначения видов и объема противопросадочных мероприятий. Необходима разработка более точных способов определения относительной просадки лёссовидных грунтов.

Решение поставленной задачи и дальнейшее совершенствование способов определения реальной просадки проектируемых сооружений следует проводить на основе всестороннего анализа и учета инженерно-геологических особенностей строительных площадок, природы прочности и изменения просадочности лёссовидных пород, с учетом действия различных типов сооружений. В связи с этим, наряду с общими стандартными способами определения относительной просадочности и методами расчета просадки толщи, следует разрабатывать частные способы определения вероятной просадки различных типов сооружений, проектируемых на разных по свойствам и устойчивости лёссовидных грунтах. Одновременно с лабораторными способами следует развивать полевые

методы определения относительной просадки, в том числе штампами в шурфах и скважинах.

Необходимость совершенствования методов исследования и оценки просадочности лёссовидных отложений особенно подчеркивается в решении Днепропетровского совещания, где указано на целесообразность пересмотра существующих норм по строительству на лёссовидных грунтах [6].

Учитывая отмеченную рекомендацию совещания, ниже рассматриваются некоторые направления совершенствования лабораторного метода определения относительной просадочности лёссовидных отложений.

### Современные методы определения относительной просадочности лёссовидных пород

В нашей стране наиболее распространенными в настоящее время являются лабораторные способы определения относительной просадки. Полевые методы, например метод испытания штампами, оказались почти забытыми, очевидно, по причине громоздкости, высокой стоимости и, главное, невозможности прямого получения величины относительной просадочности исследуемых пород. Из лабораторных способов наибольшую известность получили методы Ю. М. Абелева и Н. Я. Денисова, близко совпадающие между собой [1, 3, 4]. По методу Н. Я. Денисова образцы исследуемых пород с сохранением естественной влажности и природной структуры закладываются в кольца компрессионных приборов и при заданных давлениях замачиваются водой. В результате определяется дополнительная просадка грунта при замачивании. По этой величине вычисляется «показатель дополнительной осадки» по формуле

$$R = \frac{S_2}{h - s_1} \cdot 100,$$

где

$S_2$ —дополнительная осадка породы в приборе при замачивании под заданной нагрузкой  $P$  кг/см<sup>2</sup>;

$S_1$ —полная осадка породы в приборе при заданной нагрузке до замачивания;

$h$ —первоначальная высота образца.

Несмотря на достаточную четкость и простоту, способ Н. Я. Денисова не включен в нормы и технические условия в качестве стандартного и не получил широкого применения при производственных испытаниях просадочности лёссовидных пород строительных площадок.

Значительно большую известность и применение в практике получил метод Ю. М. Абелева. Согласно этому методу относительная просадочность (коэффициент относительной просадочности) вычисляется по коэффициенту макропористости. Последний, как и в методе Н. Я. Денисова, вычисляется по дополнительной осадке при замачивании влажного просадочного грунта, но обжатого в специальном или обычном компрессионном приборе под давлением в 3 кг/см<sup>2</sup>, а не при реальной нагрузке. Определение относительной просадочности производится по формуле

$$i_m = \frac{\varepsilon_m}{1 + \varepsilon_p}; \quad \varepsilon_m = \varepsilon_p - \varepsilon_p',$$

где  $\varepsilon_m$ —коэффициент макропористости, определяемый по разности коэффициента пористости грунта до и после замачивания при нагрузке 3 кг/см<sup>2</sup>;

- $\varepsilon_p$  — коэффициент пористости естественно-влажного грунта, обжатого в компрессионном приборе нагрузкой  $3 \text{ кг/см}^2$ ;  
 $\varepsilon'_p$  — коэффициент пористости грунта после просадки при той же нагрузке.

Данный метод определения относительной просадочности имеет ряд недостатков. Прежде всего, определение величины дополнительной просадки производится не при реальной нагрузке, которая будет передана грунту от сооружения. Во-вторых, замачивание грунта в приборе проводится сверху, что, с одной стороны, приводит к накоплению воздуха в порах грунта и понижению величины просадки, а, с другой стороны, при длительной фильтрации в специальном приборе Абелева-Озерецкого может быть вынос солей. Наконец, способ построения кривой и вычисления относительной просадочности по коэффициенту макропористости сложнее, чем вычисление показателя дополнительной осадки по методу Н. Я. Денисова.

Несмотря на отмеченные недостатки, метод Ю. М. Абелева с небольшими изменениями включен в действующие строительные нормы и правила (СНиП) и в Н и ТУ 137—56 [10] как обязательный для широкого практического применения. Днепропетровское совещание по строительству на лёссовидных грунтах рекомендовало переработать Н и ТУ 137—56, исключить из них оценку просадочности при давлении в  $3 \text{ кг/см}^2$  и заменить его реальным давлением, которое будет возникать в зоне просадочного грунта под сооружением. Следует подчеркнуть, что данная рекомендация неоднократно предлагалась в ряде работ до издания Н и ТУ 137—56, но не учтена при составлении последних.

К сожалению, в решениях совещания по вопросу методики исследования и оценки просадочности не подчеркнуты главные направления изучения лёссовидных пород. Совещание рекомендовало лишь «широко развернуть углубленное изучение свойств лёссовидных просадочных грунтов и усовершенствовать методы строительства на них». Такая общая рекомендация объясняется тем, что процесс дополнительной осадки (просадки) сооружений зависит от многих факторов и часто протекает совершенно своеобразно. В каждом конкретном случае просадка лёссовидного грунта и сооружения существенно зависит от степени промачивания грунта, приложенной нагрузки, характера фундамента и свойств грунта. Поэтому очень трудно установить заранее общие закономерности процесса просадки различных сооружений, возводимых на разных просадочных грунтах.

В работах последних лет приводится целый ряд различных положений по затронутому вопросу, что указывает на нерешенность проблемы. Кроме очевидных зависимостей просадки от состава, структуры, влажности и нагрузки, подчеркивается еще влияние бокового распора, заземленного в порах грунта воздуха, влияние методов и приборов на ход и размеры просадки. Так, например, Ю. М. Абелев в докладе, прочитанном на Днепропетровском совещании, указывает, что лабораторные методы определения относительной просадочности обычно дают заниженные результаты по сравнению с реальными и каждый раз необходимо вносить поправки к результатам этих исследований [2]. Указания об отклонении лабораторных данных от действительных величин приводят в своих работах Н. В. Орнатский [11], Л. А. Рубинштейн [12] и другие исследователи. Но какие поправочные коэффициенты вносить к лабораторным данным, еще не установлено. Кроме того, коэффициенты, очевидно, не будут едиными для разных грунтов при различных способах испытания просадочности и для разных сооружений, что опять вносит неопределенность и субъективность при решении вопроса.

Учитывая отмеченное, прежде всего необходимо решить, следует ли оставлять и совершенствовать лабораторные методы определения относительной просадочности лёссовидных грунтов или полностью переходить на полевые методы, которые совсем еще не разработаны. Чтобы полнее ответить на поставленный вопрос, рассмотрим некоторые материалы, выясняющие зависимость относительной просадки от нагрузки и влажности.

### Зависимость относительной просадки лёссовидных суглинков промышленных районов Кузбасса от нагрузки и влажности

Для лёссовидных суглинков Кузбасса совершенно так же, как для лёссовидных пород других районов СССР, отчетливо выясняется изменение относительной просадки от приложенной нагрузки в момент замачивания грунта.

Данная зависимость ранее была установлена для просадочных суглинков Кемеровского, Прокопьевского и Томского районов [7, 8, 9]. Ниже на рис. 1 приводятся новые данные изменения относительной просадочности от нагрузки, полученные для лёссовидных грунтов Беловского района Кузбасса.

Как видно из графика, относительная просадочность резко увеличивается

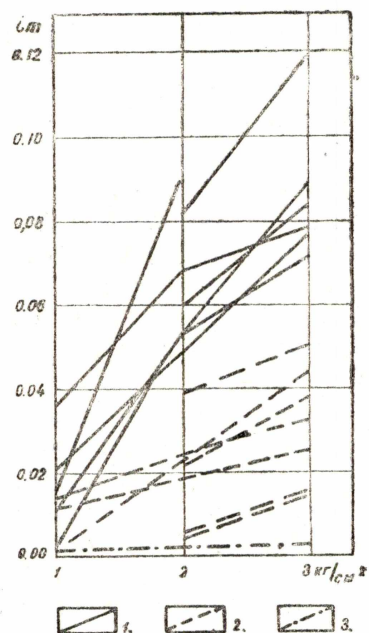


Рис. 1. Зависимость относительной просадки от нагрузки.

1 — слабовлажные суглинки со степенью влажности меньше 0,5; 2 — средневлажные со степенью влажности 0,5—0,7; 3 — влажные и насыщенные суглинки со степенью влажности больше 0,7.

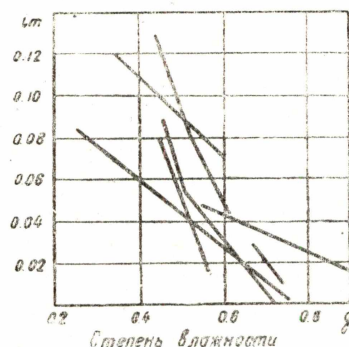


Рис. 2. Зависимость относительной просадки  $\delta$  от степени влажности. Определения в компрессионных приборах при вертикальной нагрузке  $3 \text{ кг/см}^2$ .

ся с возрастанием нагрузки в слабовлажных грунтах, менее значительно в средневлажных и очень слабо или совсем не увеличивается во влажных грунтах. Эти данные указывают на необходимость определения относительной просадочности лёссовидных грунтов строительных площадок при таких нагрузках, какие будут переданы грунту на глубине отбора монолитов будущими сооружениями.

Еще более характерной оказалась зависимость относительной просадки от начальной естественной влажности, при которой производится замачивание просадочного грунта. Данная зависимость, как и зависимость просадки от нагрузки, установлена для лёссовидных суглинков ряда промышленных районов Кузбасса [7, 8, 9], в том числе и для Беловского района (рис. 2).

Подобные зависимости подчеркиваются для лёссовидных отложений и других районов СССР. Но, касаясь влияния естественной влажности на просадку, всегда необходимо иметь в виду, что в зоне аэрации, т. е. обычно на глубине заложения фундаментов, естественная влажность с течением времени изменяется, а во время строительства грунты в котлованах, подготовленных для фундаментов, часто оказываются насыщенными водой до состояния полной влагоемкости. В этих случаях лёссовидные породы резко снижают структурные связи и из категории просадочных переходят в сильно сжимаемые грунты. Таким образом, величина относительной просадки, определенная для слабовлажных грунтов в период исследований, может оказаться нереальной для периода строительства и к моменту замачивания грунта под сооружением.

Возникает вопрос, при какой же начальной естественной влажности следует определять относительную просадочность лёссовидных пород. Принимать ли естественную влажность для периода исследований, как это делают в настоящее время, или брать грунты с характерными естественными влажностями для сухих и влажных периодов года. Как заранее учесть возможное увлажнение грунта на период строительства, когда на строительной площадке будут пройдены различные траншеи, котлованы, периодически затапливаемые водой, и грунты сжимаемой зоны на ряде участков перейдут в состояние двухфазной системы, изменят свои свойства и сопротивляемость нагрузке.

Вполне очевидно, что исследования просадочности и устойчивости лёссовидных пород следует проводить при такой естественной влажности и плотности, какую будет иметь грунт к моменту строительства и замачивания. Но предвидеть эту влажность во время исследований строительных площадок не представляется возможным. Поэтому в процессе исследований совершенно недостаточно выяснить относительную просадочность только при одной какой-то случайной естественной влажности и нагрузке, как это рекомендуется современными методами и нормами, а необходимо ставить более широкие и всесторонние исследования просадочности при изменениях влажности, нагрузки и степени промачивания. Последнее, т. е. степень промачивания грунта, оказывает не менее значительное влияние на величину просадки [12].

Для расчета максимальной просадки проектируемых сооружений по каждой строительной площадке с просадочными грунтами как минимум требуется выяснить следующие зависимости: изменяемость относительной просадочности грунтов при разных нагрузках и полном промачивании грунта водой в период опытов и, кроме того, зависимость просадки от начальной естественной влажности. Одновременно исследовать изменения структуры и физических свойств с целью выяснения причин просадочности грунта.

Перечисленные зависимости хорошо устанавливаются лабораторными исследованиями в обычных компрессионных приборах, если методика этих исследований будет изменена.

#### **Основные направления совершенствования лабораторного способа определения относительной просадки лёссовидных пород**

Проведенные нами исследования показали, что из существующих лабораторных способов лучшие результаты определения относительной просадки лёссовидных пород обеспечиваются методом снятия двух компрессионных кривых, опубликованным Р. А. Токарем еще в 1937 году. Позднее данный способ освещен в специальной инструкции [5]. Согласно этому способу для каждого монолита просадочного грунта, отобранного на строительной площадке, снимаются две компрессионные

кривые: первая при минимальной влажности грунта, для чего влажные пробы подсушиваются, вторая при полном насыщении грунта водой до его уплотнения.

Учитывая современные требования к методике определения относительной просадки лёссовидных отложений, данный способ требует изменений, которые выражаются в следующем. Первую компрессионную кривую следует снимать для естественно-влажного ненарушенного грунта, имеющего минимальную естественную влажность. С этой целью монолиты для исследования должны отбираться в наиболее сухие периоды года. Во время снятия первой кривой, учитывая невысокую влажность грунта, ступени нагрузок можно увеличивать до одного  $\text{кг/см}^2$ , что ускорит процесс снятия кривой. При нагрузке 4 или 5  $\text{кг/см}^2$ , когда наступит стабилизация, грунт замачивается водой снизу и определяется ход и величина фактической просадки. Последняя необходима для сопоставления с данными второй кривой. После завершения просадки прикладывается еще одна ступень нагрузки. Когда наступит стабилизация осадки, вода из прибора полностью удаляется и снимается кривая упругой отдачи грунта. Потом прибор разгружается и определяется объемный вес, влажность и степень закрытия макропор грунта. Последнее выполняется путем сопоставления поверхности уплотнившегося образца с его же фотографией, снятой до сжатия.

Вслед за первой кривой на том же компрессионном приборе снимается обычная компрессионная кривая для того же монолита, при замачивании грунта до приложения нагрузки, так чтобы не было набухания грунта. Снятие данной кривой следует проводить совершенно таким же образом, как снимаются обычные компрессионные кривые во время изучения сжимаемости других грунтов. Отличием является лишь то, что замачивание грунта, как и при снятии первой кривой, следует производить снизу, чтобы лучше вытеснить воздух из пор грунта без выноса мелких частиц и выщелачивания растворимых солей. В том и другом случае замачивание следует проводить холодной водой, содержащей минимальное количество адсорбированного воздуха и растворенных солей. После снятия второй кривой вода из прибора удаляется, снимается упругая кривая грунта и определяется объемный вес, влажность и степень закрытия макропор. Все эти операции делаются как и в первом случае. Полученные коэффициенты пористости и влажности сопоставляются с первыми, и, если расхождение окажется не более 3—5%, опыты заканчиваются, а исходные данные направляются для обработки. В процессе обработки материалов составляются два графика (рис. 3), каждый с двумя компрессионными кривыми, по которым легко определяется относительная просадка грунта для любой заданной вертикальной нагрузки.

Таким образом, данный метод позволяет определить изменение степени относительной просадки грунта в зависимости от нагрузки и получить обычную компрессионную кривую, необходимую для расчета осадок сооружений. Напротив, применяемый сейчас нормативный способ позволяет определить лишь одну чисто случайную величину относительной просадки при одной заданной нагрузке. Что касается мнения Н. Я. Денисова о недоуплотняемости грунта при снятии второй компрессионной кривой, то наши исследования этого не подтвердили. Напротив, как это хорошо видно из рисунка 3, уплотнение грунта при снятии второй кривой оказывалось почти всегда выше, чем после просадки при заданной нагрузке. Исключение составили отдельные определения, очевидно, с ошибками в опытах или с разной макропористостью взятых образцов. Последнее также отмечено Н. Я. Денисовым как большой дефект данного метода. Чтобы свести его к минимуму, образцы в кольца прибо-

ров следует отбирать из одного участка монолита последовательно один выше другого, то есть по ходу развития макропор, почти всегда ориентированных вертикально.

Следует ли в практике сохранить способ, рекомендованный СН И Пом и Н и ТУ 137—56 [10]. Нам кажется, что не следует, так как результаты, полученные этим способом, как подчеркивалось выше, очень часто оказываются случайными, обычно заниженными, не отвечающими действительным максимальным просадкам грунта при заданных давлениях. Лишь в отдельных случаях, когда необходимо очень быстро провести исследования и приближенно определить величину просадки, можно допустить применение этого способа, причем замачивание грунта вести при реальных нагрузках.

В тех случаях, когда относительную просадку грунта требуется определить для фундаментов, передающих динамические нагрузки, испытания в компрессионных приборах необходимо проводить тем и другим способами с применением соответствующих динамических нагрузок.

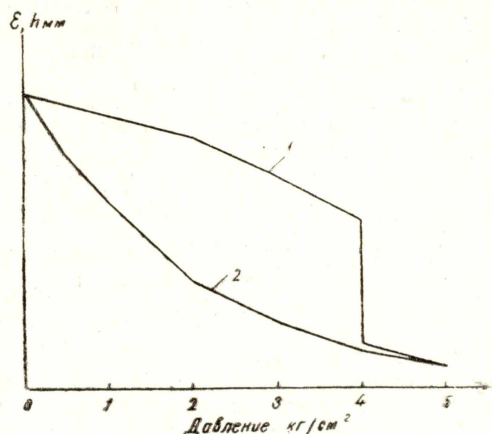


Рис. 3. Графики для определения коэффициента макропористости и относительной просадки по данным испытания лёссовидных грунтов в компрессионных приборах. 1 — компрессионная кривая грунта с минимальной естественной влажностью; 2 — компрессионная кривая грунта, насыщенного водой до замачивания.

### Заключение

Отмеченные выше положения о применении метода снятия двух кривых для определения относительной просадки рассматриваются нами как первый этап необходимого коренного совершенствования исследований свойств и просадочности лёссовидных пород. Одновременно с развитием лабораторных способов следует шире разрабатывать простые, обеспечивающие необходимую точность, полевые методы исследования устойчивости и просадочности лёссовидных пород, в том числе малыми штампами в скважинах.

В процессе лабораторных исследований особое внимание необходимо уделять выяснению природы прочности и просадочности лёссовидных пород и выяснению зависимости величины просадки от разных факторов. Такого характера исследования позволят быстрее разработать наиболее точные способы оценки устойчивости и просадочности сооружений, проектируемых на лёссовидных грунтах, и выработать эффективные и простые меры борьбы с просадками.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Абелев Ю. М. Основы проектирования и строительства на макропористых грунтах. Стройвоенмориздат, 1948.
2. Абелев Ю. М. Явления просадки и её закономерности для глинистых грунтов. Тезисы доклада на Днепровском совещании, 1957.
3. Денисов Н. Я. О природе деформаций глинистых пород. Изд. Министерства речного флота, 1951.
4. Денисов Н. Я. Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков. Москва, 1953.

5. Инструкция по определению просадочных свойств макропористых (лёссовидных) грунтов (И-111-48), Стройиздат, 1950.
6. Материалы Днепровского совещания. Днепропетровск, 1957.
7. Нифантов Ф. П. Геология рыхлых отложений и физические свойства поровых лёссовидных пород Кемеровского района Кузбасса. Томский политехнический институт, 1951.
8. Нифантов Ф. П. Инженерно-геологическая характеристика лёссовидных отложений некоторых промышленных районов Кузбасса. Труды совещания по инженерной геологии, том I, Академия наук СССР, Москва, 1956.
9. Нифантов Ф. П. Определение просадки сооружений на лёссовидных суглинках Кузбасса. Известия Томского политехнического института, 1958.
10. Нормы и технические условия проектирования и строительства зданий и промышленных сооружений на макропористых просадочных грунтах (Н и ТУ 137—56), Москва, 1956.
11. Орнатский Н. В. Занижение просадок при определении просадочности грунтов методом замачивания под нагрузкой. Тезисы доклада на Днепровском совещании, Днепропетровск, 1957.
12. Рубинштейн А. Л. Инженерно-геологические свойства лёссовидных грунтов и их деформации под ирригационными сооружениями. Труды совещания по инженерной геологии, том I, Академия наук СССР, Москва, 1956.
13. Строительные нормы и правила, часть II. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, Москва, 1954.
14. Токарь Р. А. Количественная характеристика макропористых (лёссовидных) грунтов. Сборник Фундаментостроя, № 7, 1937.