*Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIV, вып. 2, 1958 г.*

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ СКЕЛЕТА ГРУНТА

*С. А. Роза, А. И. Котов*

К ползучей деформации скелета грунта относят его медленную деформацию при постоянном напряженном состоянии. Этим видом деформаций скелета грунта в обычном расчете осадки сооружения пренебрегают. Однако, как показывают экспериментальные исследования, эти деформации имеют существенное значение в процессе уплотнения грунта и особенно при расчете изменения осадки слоя грунта во времени.

При уплотнении грунта под действием нагрузки без возможности его бокового расширения, ползучая деформация скелета обусловлена смещением элементов скелета грунта одних относительно других и внедрения их в поровый объем грунта [1].

В первоначальной теории уплотнения водонасыщенного грунта скорость его уплотнения связывалась только со скоростью фильтрации поровой воды под действием ее избыточного напора, возникавшего от приложения к грунту нагрузки. Скорость сжатия водонасыщенного грунта лимитировалась только скоростью удаления воды из его пор. Влияние прочности скелета грунта на процесс его сжатия не учитывалось. Дальнейшее развитие фильтрационной теории уплотнения грунта с учетом ползучести его скелета [2] указало на большую роль напряженного состояния скелета даже в начальной фазе процесса уплотнения грунта.

В. А. Флорин отметил, что в расчете уплотнения при учете ползучести скелета водонасыщенного грунта возможен такой процесс уплотнения, при котором: 1) давление в поровой воде в момент приложения нагрузки повысится меньше, чем величина приведенного напора воды, или же вовсе не повысится; 2) снижение сопротивления грунта сдвигу при быстром приложении нагрузки незначительное или отсутствует; 3) время уплотнения зависит от толщины уплотняемого слоя.

Напряжение водонасыщенного грунта в процессе уплотнения можно измерять непосредственно в скелете грунта или определять по величине измеренного избыточного напора воды в порах. Изучение изменения напряженного состояния скелета водонасыщенного грунта по величине измеренных изменений избыточного напора воды в его порах более просто, чем непосредственное измерение напряжений в скелете грунта, и широко применяется при наблюдениях в лабораторных условиях и при натурных исследованиях.

Известно, что при большой пористости водонасыщенного глинистого грунта с нарушенной структурой результаты измерений избыточного давления воды в порах грунта хорошо совпадают с результатами расчета по фильтрационной теории уплотнения [3].

Экспериментальные исследования А. И. Котова [9], произведенные для разработки постановки вопроса о теории сольватно-контактных деформаций связанных грунтов, указали на существенные отклонения теоретических решений фильтрационного уплотнения грунта от измеренных избыточных напоров воды в его порах.

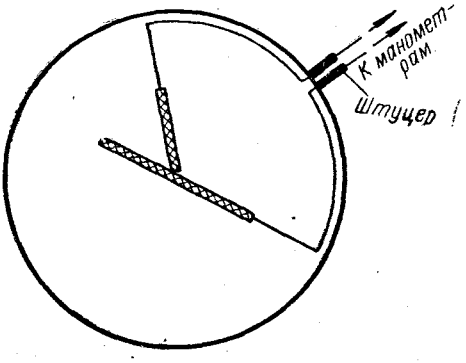



Рис. 1. Размещение зондов в горизонтальном сечении образца грунта в большом компрессионном приборе (А. И. Котов)

Большой компрессионный прибор, изготовленный А. И. Котовым, имел диаметр 50 *см*. Грунт использовался с нарушенной структурой, чтобы обеспечить однородность и создать предпосылки для уменьшения влияния прочности скелета на процесс уплотнения. Опытная установка (с рычажной обжимной системой на шариковых подшипниках, подвижной хвостовой опорой в направляющих и приспособлением для мгновенного приложения и снятия нагрузки и уравновешивания поршня) была оборудована мессурами, гидроаэростатическими манометрами, барометрами, термометрами и фотокамерой. Внутренняя поверхность компрессионного стакана была оклеена алюминиевой фольгой по слою смазки. Нижняя опорная площадь для образца была сделана водонепроницаемой, а верхняя — проницаемой, поэтому отжимаемая из грунта вода двигалась односторонне — снизу вверх. Шток точно центрировался. У дырчатого поршня были исключены возможности перекосов и заедания. Он имел снизу искусственный пористый камень толщиной 2 *см*. Между камнем и грунтом укладывался один лист фильтровальной бумаги, которая защищала камень от засорения.

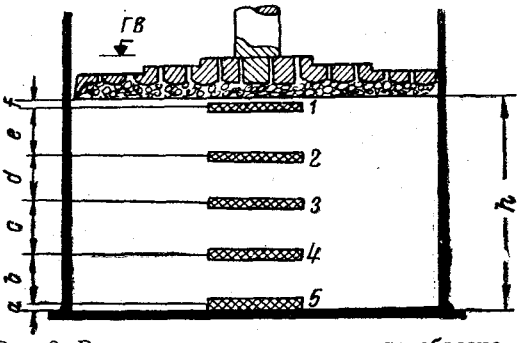



Рис. 2. Размещение зондов по высоте образца грунта в большом компрессионном приборе с номерами горизонтальных сечений (А. И. Котов)

Гидроаэростатические манометры, наполненные керосином, имели капиллярные трубки с внутренним диаметром 0,1 *мм* и обеспечивали точность измерения давления до 0,01 *атм*. Количество выжимаемой воды из грунта в измерительный прибор было значительно менее 1% от количества воды, соответствующего уменьшению

| Номер грунта | Размеры, *мм* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *a* | *b* | *c* | *d* | *e* | *f* | *h* |
| 1 | 6 | 185 | 185 | 185 | 185 | 16 | 762 |
| 2 | 3,5 | 34 | 34 | 34 | 34 | 5,5 | 145 |
| 3 | 3,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 10,5 | 140 |
| 4 | 3,5 | 48 | 48 | 48 | 48 | 8,5 | 204 |

пористости грунта в слое высотой 1 *см* при уплотнении под нагрузкой. Такое количество воды могло ничтожно мало занизить начальный отсчет в момент приложения нагрузки. На характере же медленного затухания изменений избыточного порового давления в грунте ничтожное изменение количества воды в измерительном приборе не могло отражаться, поэтому работа приборов не вызывала сомнений. Приемные зонды длиной 12 и 26 *см* имели перфорацию только на боковой поверхности и были обернуты двумя слоями металлической сетки с размером ячеек $0{,}06 \times 0{,}06$ *мм*. Зонды размещались в средней части образца грунта (рис. 1) и по высоте образца на равных расстояниях в пяти горизонтах (рис. 2). Они соединялись с манометрами латунными трубками с внутренним диаметром 2 *мм*. Манометры были тщательно тарированы при помощи открытого ртутного манометра. Для обеспечения одновременных и частых, до промежутка в 2 сек., отсчетов А. И. Котов применил фотозасечки пленочной фотокамерой с резко работающим объективом и интенсивное освещение. В отсчеты вводились поправки на изменение барометрического давления и температуры.

Эксперименты были произведены с грунтами, характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Номер грунта | Содержание фракций, % | | | | Объемный вес, *т/м*³ | Удельный вес, *г/см*³ | Влажность, % | | | | Коэффициент фильтрации, *см/сек* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,25 —0,10 | 0,10 —0,05 | 0,05 —0,005 | менее 0,005 | | | $w_н$ | $w_т$ | $w_р$ | $w_к$ | |
| 1 | 26 | 32 | 40 | 2 | 1,67 | 2,65 | — | — | — | — | $6 \cdot 10^{-4}$ |
| 2 | 2 | 46 | 40 | 12 | — | 2,66 | 23 | 20 | 17 | 17 | $4—10 \cdot 10^{-7}$ |
| 3 | — | 14 | 58 | 28 | — | 2,69 | 25 | 28 | 17 | 20 | $1—3 \cdot 10^{-7}$ |
| 4 | 13 | 23 | 49 | 15 | — | 2,67 | 25 | 22 | 17 | 17 | $7—20 \cdot 10^{-7}$ |

Примечание. $w_н$ — начальная влажность образца грунта, уложенного в прибор; $w_т$ — влажность образца грунта на пределе текучести; $w_р$ — влажность грунта на пределе раскатывания; $w_к$ — конечная влажность грунта, после уплотнения в приборе.

Частицы глины грунтов № 2—4 состояли в основном из гидрослюд. При подготовке каждого грунта принимались меры для устранения из него защемленного воздуха. Все грунты были уложены в стакан прибора в текучем состоянии, чтобы по возможности обеспечить плотное прилегание к стенкам стакана и пористому камню в поршне прибора.

В момент приложения мгновенной нагрузки на водонасыщенный грунт, если его скелет в этот момент не воспринимал бы давления, одновременно с приложением нагрузки возникало бы в поровой воде избыточное давление, равное приведенной высоте давления, соответствующей величине мгновенной нагрузки, и коэффициент передачи давления на воду был бы равен единице. Таким образом, величина измеренного избыточного давления в момент приложения нагрузки позволит судить достаточно хорошо об отклонении коэффициента передачи давления на воду от единицы и напряженном состоянии скелета грунта.

Кроме того, наблюдалась осадка поршня в момент приложения нагрузки, которая вызвана сжатием и частичным растворением воздуха,

защемленного в небольшом количестве в порах грунта. Мгновенная осадка грунта, без возможности его бокового перемещения, должна соответствовать количеству защемленного воздуха. Осадки же поршня, обусловленные недостаточно плотным примыканием грунта к стенкам прибора, и сжатие фильтра в момент нагрузки еще не могли проявиться.

Из табл. 2, где приведены результаты наблюдений за сжатием грунта № 1, видно, что коэффициент передачи давления на поровую воду в плотном водонасыщенном песке значительно менее единицы. Он уменьшался с ростом нагрузки при почти неизменной пористости. Это объясняется увеличением напряжений в контактах между зернами и увеличением жесткости скелета. Возможно, величины коэффициентов несколько занижены из-за особенности измерительного прибора, большой высоты образца и трения по стенкам цилиндра. Однако эта погрешность не может быть большой.

Таблица 2

| Показатель | Общая нагрузка, *кг/см²* | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,02 | 0,55 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 3,50 | 0,55 | 0,02 |
| Коэффициент пористости . . . | 0,586 | 0,581 | 0,580 | 0,578 | 0,577 | 0,576 | 0,575 | 0,574 | 0,576 | 0,579 |
| Продолжительность ступени нагрузки, час. . | — | 0,5 | 0,5 | 260 | 144 | 193 | 315 | 500 | 23 | 0,5 |
| Скорость осадки, *мм/час* . . . . | — | 0,36 | 0,09 | 0,001 | 0,001 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0001 | 0,001 | 0,15 |
| Приращение давления воды, *кг/см²* . . . . . | — | 0,24 | 0,18 | 0,15 | 0,06 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | —0,06 | —0,06 |
| Коэффициент передачи давления | — | 0,43 | 0,40 | 0,30 | 0,12 | 0,06 | 0,02 | 0,00 | — | — |

Примечание. Песок уложен плотно. Высота грунта в приборе 76,2 *см*

Результаты наблюдений за явлениями в грунте № 2 сведены в табл. 3, откуда видно, что коэффициент передачи давления на воду вначале близок единице, но по мере уплотнения грунта он уменьшался. Для глинистого грунта он, естественно, больше, чем для песка, так как скелет глины менее жесткий. При разгрузке образца наблюдался небольшой вакуум (от нескольких сотых долей до 1 *кг/см²*), который быстро снижался вследствие выделения из поровой воды растворенного воздуха.

Мгновенные относительные осадки (указанные в табл. 3 в процентах от начальной высоты образца перед очередной нагрузкой), а также отрицательные осадки (разбухание) мало отличались от теоретических, обусловленных количеством защемленного воздуха, составлявшего около 1,5% объема грунта. Отклонение теоретических мгновенных осадок от опытных несколько возрастало с увеличением уплотнения глины. Отмечена почти полная обратимость явлений при разгрузке и повторной нагрузке грунта.

Аналогичные закономерности наблюдались и для грунтов № 3 (табл. 4) и № 4 (табл. 5).

Полученные коэффициенты передачи давления на воду разные, или близкие к единице указывают на ничтожное трение грунта о стенки прибора. Значительное уменьшение коэффициента передачи давления

Таблица 3

| Показатель | Общая нагрузка, *кг/см²* | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,00 | 0,03 | 0,56 | 1,56 | 2,56 | 3,56 | 2,56 | 1,56 | 0,55 | 1,56 | 2,56 | 1,56 | 0,56 | 0,03 | 0,00 |
| Коэффициент пористости | 0,649 | 0,586 | 0,501 | 0,467 | 0,450 | 0,438 | 0,440 | 0,443 | 0,449 | 0,444 | 0,441 | 0,443 | 0,448 | 0,461 | 0,468 |
| Продолжительность ступени нагрузки, час | — | 109 | 71 | 118 | 194 | 530 | 118 | 1,5 | 69 | 71 | 239 | 4 | 45 | 53 | 208 |
| Скорость осадки, *мм/час* | — | 0,003 | 0,001 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0004 | 0,06 | 0,005 | 0,0001 | 0,0001 | 0,001 | 0,0002 | 0,0005 | 0,0005 |
| Приращение давления воды, *кг/см²* | — | — | 0,51 | 0,83 | 0,40 | 0,20 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Коэффициент передачи давления | — | — | 0,96 | 0,83 | 0,40 | 0,20 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Мгновенная относительная осадка, % | — | — | 0,86 | 0,52 | 0,26 | 0,19 | — | —0,14 | —0,25 | 0,24 | 0,14 | —0,23 | —0,28 | — | — |

Примечание. Толщина слоя грунта в стакане 14,5 *см*.

Таблица 4

| Показатель | Общая нагрузка, *кг/см²* | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,00 | 0,03 | 0,30 | 0,56 | 1,56 | 0,56 | 1,56 | 0,56 | 0,03 | 0,00 |
| Коэффициент пористости | 0,704 | 0,675 | 0,600 | 0,573 | 0,518 | 0,522 | 0,514 | 0,518 | 0,536 | 0,542 |
| Продолжительность ступени нагрузки, час | — | 190 | 289 | 214 | 789 | 144 | 605 | 119 | 358 | 479 |
| Скорость осадки, час | — | 0,0007 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,001 | 0,0001 |
| Приращение давления воды, *кг/см²* | — | — | 0,24 | 0,21 | 0,78 | — | — | — | — | — |
| Коэффициент передачи давления | — | — | 0,90 | 0,79 | 0,78 | — | — | — | — | — |
| Мгновенная относительная осадка, % | — | — | 0,32 | 0,10 | 0,42 | —0,16 | 0,18 | —0,15 | —0,13 | — |

Примечание. Толщина слоя грунта в стакане 14 *см*.

Таблица 5

| Показатель | Общая нагрузка, *кг/см²* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,00 | 0,03 | 0,54 | 1,06 |
| Коэффициент пористости . . . . | 0,699 | 0,594 | 0,488 | 0,466 |
| Продолжительность ступени нагрузки, час. . . . . | — | 333 | 1058 | 3500 |
| Скорость осадки, *мм/час* . . . . | — | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| Приращение давления воды, *кг/см²* . . . . . | — | — | 0,51 | 0,23 |
| Коэффициент передачи давления | — | — | 1,00 | 0,45 |
| Мгновенная относительная осадка, % . . . . . | — | — | 0,84 | 0,15 |

Примечание. Толщина слоя грунта в стакане 20,4 *см*.

грунта № 4 при переходе от нагрузки 0,56 к 1,06 *кг/см²* связано с длительным, более 1000 час., выдерживанием грунта под нагрузкой, уплотнением его до влажности, близкой к влажности на пределе раскатывания, и образованием более прочных связей в скелете.

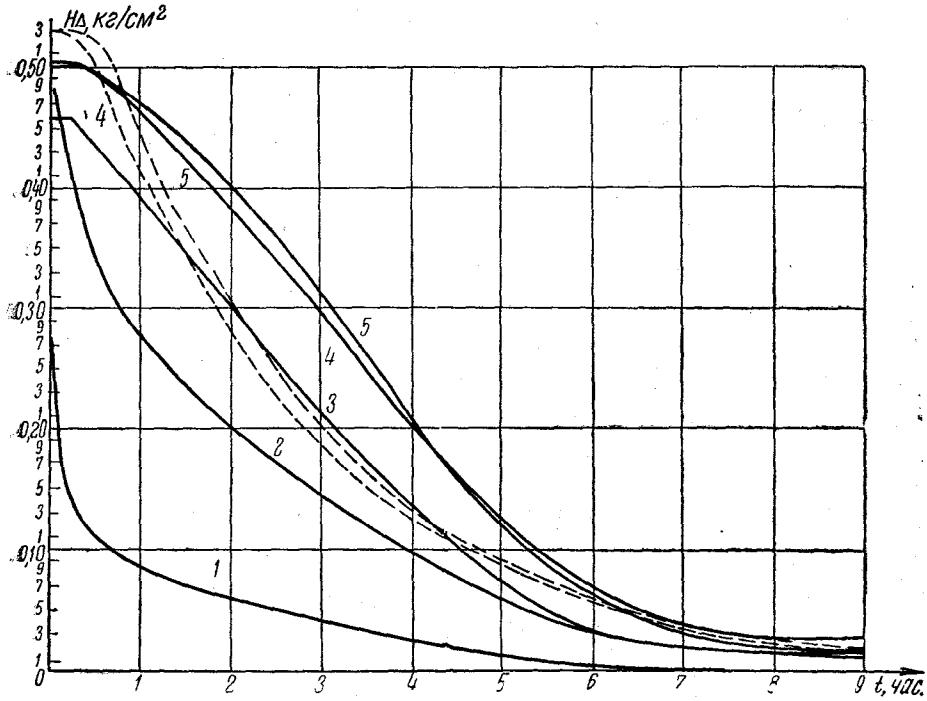



Рис. 3. Опытные и теоретические кривые изменения избыточного давления воды в порах грунта № 2 по времени для ступени нагрузки 0,03—0,56 *кг/см²*. Давление опытное показано сплошными линиями, теоретическое — пунктиром. Номера на кривых соответствуют номерам горизонтальных сечений в большом компрессионном приборе (А. И. Котов)

Для периода уплотнения грунта под приложенной нагрузкой интересно сравнить ход осадки грунта под нагрузкой в большом приборе диаметром 50 *см* и обычном компрессионном с диаметром стакана 7 *см*. Конечное относительное сжатие грунта под одной и той же нагрузкой

практически совпадало. Однако при малой влажности относительное сжатие в большом приборе было несколько меньше, чем в обычном. Различие в характере уплотнения во времени также сокращалось с уменьшением пористости образца грунта.

Большая продолжительность процесса уплотнения характерна для тонкозернистого водонасыщенного песка. При нагрузке 3,5 *кг/см*$^2$ не было достигнуто полного затухания осадки даже при выдерживании нагрузки более 500 час. К концу этого периода изменение осадки составляло 0,0001 *мм/час*. Изменение напоров воды в песке не типично.

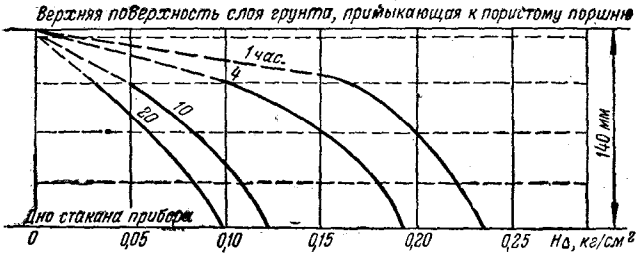



Рис. 4. Эпюры избыточных давлений воды в порах грунта № 3 в большом компрессионном приборе для различной продолжительности приложения ступени нагрузки 0,30—0,56 *кг/см*$^2$

Совмещение экспериментальных кривых уменьшения избыточных напоров при уплотнении грунта № 2 под нагрузкой 0,56 *кг/см*$^2$ и теоретических, полученных для постоянных коэффициентов пористости и фильтрации, без учета жесткости скелета, для нижнего и второго снизу сечения образца, дано на рис. 3. Срабатывание экспериментальных напоров, как видно из графиков, вначале происходило медленнее теоретических. Избыточные напоры не срабатывались до нуля, и фильтрационное уплотнение прекратилось через 9 час. после приложения нагрузки. Для следующих нагрузок наблюдалось уменьшение начальных избыточных напоров и дальнейшее укорочение периода фильтрационного уплотнения (табл. 6). Отклонение фильтрационного уплотнения от теоретического росло с уменьшением пористости водонасыщенного грунта (рис. 4).

Осадки грунта под приложенной нагрузкой продолжались и по окончании фильтрационного уплотнения в результате одной ползучей деформации скелета грунта. Как видно из рис. 5, величина фильтрационного уплотнения преобладала над другими видами уплотнения. Продолжительность же осадки определялась ползучей деформацией скелета грунта. Ползучее уплотнение происходило скачкообразно, поэтому остаточный напор воды в порах грунта колебался около своего среднего значения.

Остаточный напор обусловлен начальным градиентом напора [4]. Он уменьшался от нижнего сечения в приборе к верхнему. Следовало бы ожидать, что остаточные напоры, а следовательно, и начальный градиент по мере ползучего уплотнения грунта должны возрастать с уменьшением влажности. Однако этого явления не было обнаружено.

С увеличением плотности грунта росли остаточный напор и доля ползучего уплотнения в общей осадке грунта под нагрузкой. Процесс ползучей осадки протекал, как видно из табл. 6, значительно

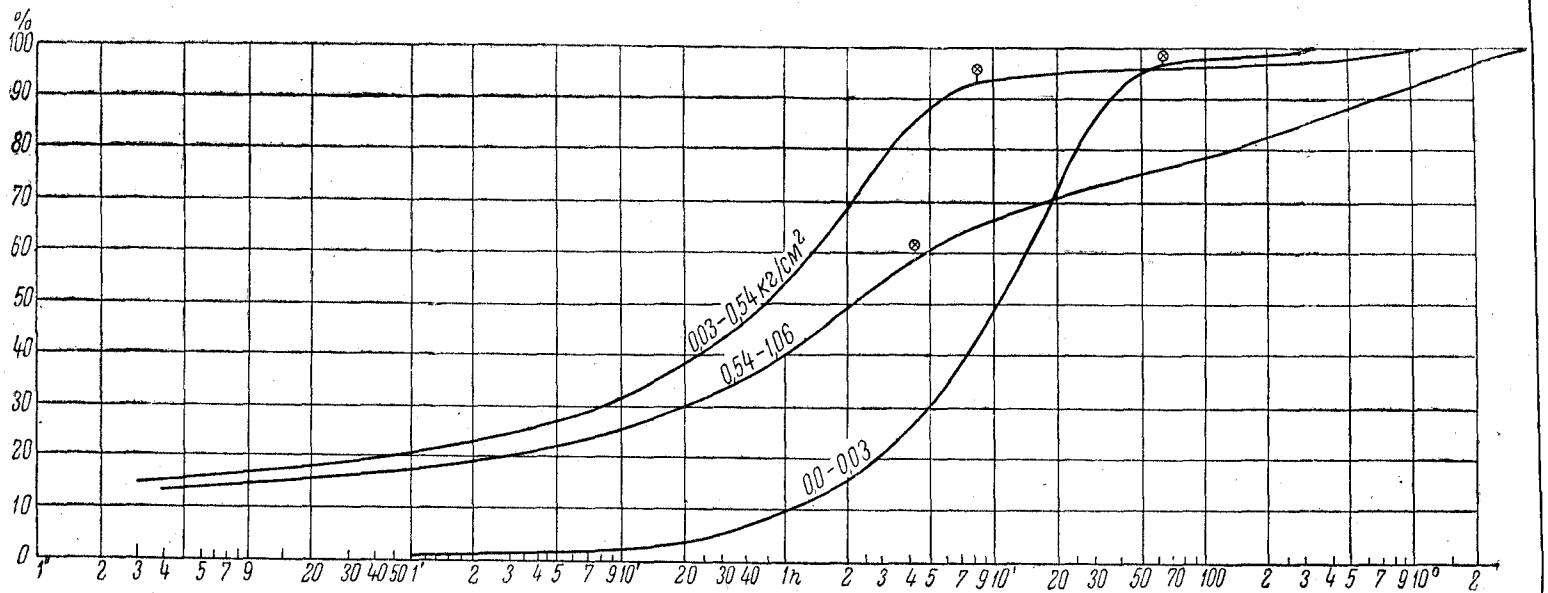



Рис. 5. Осадки грунта № 4 под разными ступенями нагрузки в процентах от конечной осадки, полученной для последовательных ступеней нагрузки. Крестиками на кривых обозначен конец фильтрационного уплотнения (А. И. Котов).

медленнее, чем фильтрационное уплотнение. Увеличение продолжительности выдерживания грунта под нагрузкой не изменило картины явлений.

Таблица 6

| Показатель | Общая нагрузка, *кг/см²* | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | грунт № 2 | | | | грунт № 3 | | | грунт № 4 | |
| | 0,56 | 1,56 | 2,56 | 3,56 | 0,30 | 0,56 | 1,56 | 0,54 | 1,06 |
| Продолжительность фильтрационного уплотнения, час. . . . . | 9 | 3 | 2 | 1 | 50 | 20 | 10 | 8 | 4 |
| Период наблюдений, час. . . . . | 71 | 118 | 194 | 530 | 289 | 214 | 789 | 1058 | 3500 |
| Остаточное избыточное давление, *кг/см²* . . . | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,03 | 0,10 | 0,23 | 0,03 | 0,05 |
| Мгновенная относительная осадка, % . . . . | 16 | 23 | 23 | 22 | 6 | 6 | 12 | 13 | 13 |
| Фильтрационное уплотнение, % . . . . . | 80 | 69 | 55 | 37 | 90 | 84 | 75 | 80 | 45 |
| Ползучая осадка, % . . | 4 | 8 | 22 | 41 | 4 | 10 | 13 | 7 | 42 |

Примечание. Данные в процентах взяты от конечной осадки для каждой ступени нагрузки.

Из характера эпюры избыточных напоров воды в порах грунта (рис. 4), который практически не изменился в течение периода дальнейших наблюдений, видно, что остаточный напор воды в образце грунта, обусловленный начальным градиентом напора воды, уменьшался от водонепроницаемого дна стакана компрессионого прибора до верхней поверхности слоя грунта, у пористого штампа, где он равнялся нулю. Это уменьшение происходило близко к линейному и в соответствии с теоретической зависимостью [4] при учете начального градиента напора воды. Наблюдения уточнили теоретическую схему: начальные градиенты получились у водонепроницаемого дна несколько меньше, чем у кровли слоя, так как влажность грунта у дна была несколько больше, чем у кровли.

Известно, что угловой коэффициент полученной прямой в треугольной эпюре остаточных избыточных напоров воды в порах грунта равен начальному градиенту. Условием появления треугольной эпюры остаточных напоров [4] является

$$\frac{p_2 - p_1}{h\gamma} = \frac{0{,}56 - 0{,}3}{14 \cdot 0{,}001} = 18 > J_н,$$

что при полученных начальных градиентах имело место для всех ступеней нагрузки.

Вычисленные начальные градиенты напора воды (табл. 7) нанесены на график рис. 6. Они растут с уменьшением влажности и играют

Таблица 7

| Показатель | Общая нагрузка, *кг/см²* | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | грунт № 2 | | | | грунт № 3 | | | грунт № 4 | |
| | 0,56 | 1,56 | 2,56 | 3,56 | 0,30 | 0,56 | 1,56 | 0,54 | 1,06 |
| Начальный градиент . . | 1,5 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 2,0 | 10,0 | 17,0 | 1,5 | 2,5 |
| Влажность грунта, % . | 19,0 | 17,5 | 17,0 | 16,5 | 22,0 | 21,0 | 19,0 | 18,0 | 17,5 |

существенную роль в процессах уплотнения грунта при влажности, близкой к влажности на пределе раскатывания.

Начальные градиенты, приведенные в табл. 7, оказались больше полученных при непосредственной фильтрации через грунт в фильтрационном приборе [8], так как при непосредственной фильтрации через грунт дистиллированная вода обогащается электролитами. В результате различной концентрации растворов по сторонам образца грунта в фильтрационном приборе возникает осмотическая фильтрация в сторону большей концентрации [5], которая уменьшает начальный градиент напора воды.

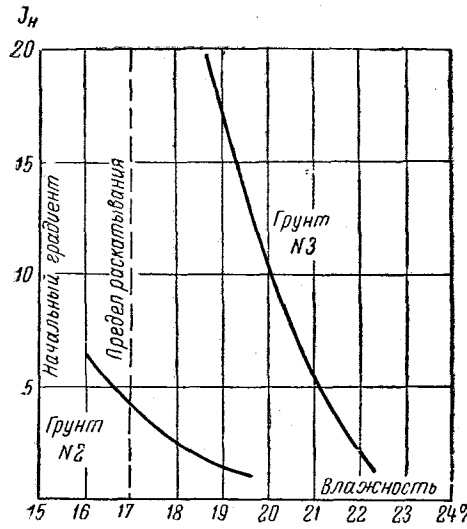



Рис. 6. Зависимость начальных градиентов напора воды для грунтов № 2 и 3, полученных из компрессионных испытаний от влажности грунта

В толще грунта, а также в компрессионном приборе этот процесс отличается от описанного тем, что концентрация раствора, отжимаемого из грунта, падает с уменьшением влажности [6]. В грунте № 3 конечная влажность внизу была 20%, в середине — 19,5% и вверху — 19,2%. У нижней границы слоя в приборе концентрация раствора в порах грунта будет, по-видимому, больше, чем у верхней. Эта разность концентраций также должна несколько повышать начальный градиент, полученный наблюдениями за процессом уплотнения грунта. Если нагрузка на грунт будет приложена равномерно и медленно возрастающая, то фильтрационное уплотнение не будет иметь практического значения и осадки грунта под нагрузкой будут обусловлены ползучими деформациями скелета. Интенсивность равномерного нарастания нагрузки, при котором фильтрационное уплотнение не имеет практического значения, может быть тем больше, чем меньше пористость водонасыщенного грунта, вследствие увеличения начального градиента напора.

С указанными изменениями тесно связано также решение вопроса об учете фактора времени при определении продолжительности осадок и сопротивления глинистого грунта сдвигу. Как известно из теории фильтрационного уплотнения, продолжительность осадок слоев различной толщины прямо пропорциональна квадрату толщины этих слоев. Однако наблюдения за продолжительностью осадок двух одинаковых образцов, но различной высоты, дают величину показателя менее двух. В среднем показатель равен 1,5, а для некоторых грунтов — менее единицы, что является следствием сопротивления скелета грунта сжатию, его ползучей деформации.

Изменение сопротивления сдвигу для глинистого грунта в зависимости от продолжительности уплотнения под постоянной нагрузкой также не имеет прямой связи с продолжительностью выдерживания нагрузки на грунте. У некоторых плотных грунтов не происходит изменения сопротивления сдвигу при одновременном приложении нагрузки и сдвигающего усилия. У водонасыщенных же глинистых грунтов со средней и большой влажностью и сравнительно прочными связями при

быстром приложении сдвигающего усилия вслед за увеличением нагрузки происходит незначительное уменьшение сопротивления сдвигу. Здесь также сказывается ползучая деформация скелета грунта.

Таким образом, у водонасыщенных глинистых грунтов следует ожидать отклонения процесса уплотнения от теоретических решений. При жестком или прочном скелете грунта [7], а также при малой влажности ход осадок не характеризует изменений избыточного напора воды в порах грунта, а следовательно, и напряжений в скелете грунта, так как они обусловлены главным образом явлениями ползучести.

**Использованная литература**


1. Денисов Н. Я. О природе деформаций глинистых пород. Стройиздат, 1951.
2. Флорин В. А. Одномерная задача уплотнения сжимаемой пористой ползучей земляной среды. Изв. АН СССР, ОТН, 1953, № 6.
3. Флорин В. А. Уплотнение земляной среды и фильтрация при переменной пористости с учетом влияния связанной воды. Изв. АН СССР, ОТН, 1951, № 11.
4. Роза С. А. Расчет осадок слоя глины, имеющей влажность, близкую к критической. НИТО строителей, Лениздат, 1953.
5. Рельтов Б. Ф. Дальнейшие экспериментальные исследования осмотических явлений в связных грунтах. Изв. ВНИИГ, 1955, т. 53.
6. Ломтадзе В. Д. Изменение влажности глин при уплотнении их большими нагрузками. Зап. ЛГИ, 1953, т. XXIX, вып. 2.
7. Роза С. А. Структурная прочность глинистых грунтов с большой влажностью. «Гидротехническое строительство», 1951, № 1.
8. Роза С. А. Результаты экспериментального изучения начального фильтрационного градиента в плотных глинах. Сб. трудов ВНИИГС, 1953, № 4.
9. Котов А. И. О деформациях связных (глинистых) грунтов. Тр. Новосибирского института инж. водного транспорта, 1956.