

## **АНАЛИЗ КОНСОЛИДАЦИИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ВСЛЕДСТВИЕ ДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Л.М. Тимофеева**

Пермский государственный технический университет

*Проведен анализ процесса консолидации глинистых грунтов, залегающих в основании земполотна автомобильных дорог, при действии технологических нагрузок до введения дороги в эксплуатацию. Земполотно возводилось с устройством дренажных продольных и поперечных прорезей для ускорения консолидации основания, сложенного слабыми, сильно сжимаемыми водонасыщенными глинистыми грунтами различной консистенции.*

Как показала практика строительства, интенсивность процесса фильтрационной консолидации основания зависит от гидрологических условий работы дренажных сооружений, фильтрационных свойств грунтов основания и уплотняющей нагрузки от вышележащей насыпи и технологического транспорта.

Для прогноза развития осадок слабого основания после возведения и «отдыха» земполотна и возможности осуществления работ по устройству дорожной одежды нами был выполнен анализ инженерно-геологических условий участка строительства, рассмотрены закономерности развития деформаций слабых грунтов во времени, проведены расчеты конечных осадок оснований от веса земполотна, результаты которых сопоставлены с данными геодезических наблюдений, а также расчеты несущей способности слабого основания при действии эксплуатационных нагрузок.

На основе инженерно-геологических изысканий, выполненных в 2005 г. Уралгипротрансом, было установлено, что в основании до изученной глубины 8,0 м залегают пылеватые суглинки и глины от тугопластичной до текучей консистенции. Кровля слабых водонасыщенных суглинков текучепластичной и текучей консистенции находится на глубине около 4,0 м, при этом их мощность в пределах изученной толщи составляет не менее 4,0 м.

По результатам расчетов при высоте насыпи  $H_n = 5,0-8,0$  м мощность активной сжимаемой толщи по оси поперечного сечения земполотна составляет  $H_a = 12,3$  м; то же по вертикали, проходящей через верхнюю бровку земполотна,  $-H = 11,75$  м.

Таким образом, слабые сильно сжимаемые грунты находятся в пределах активной зоны деформаций, причем их мощность превышает 4,0 м, так что в соответствии с п. 6.24 СНиП 2.05.02–85\* [6] основания относятся к слабым.

При устройстве земполотна на слабых основаниях могут быть рассмотрены различные решения [6], включающие как разработку методов усиления основания, так и применение специальных технологий, ускоряющих процессы консолидации и улучшающие прочностные показатели слабых грунтов (методы интенсивных технологий).

Наиболее простой способ возведения земполотна на слабом основании представляет собой ускорение осадки основания с помощью временной пригрузки. Такой метод требует тщательного расчета всех этапов консолидации и правильного определения величины пригрузки, после снятия которой нагрузка на кровлю слабого слоя (с учетом эксплуатационной нагрузки) не должна превышать несущую способность основания (формула (3) работы [4]). Именно этот вид устройства земполотна и был выбран в качестве основного на рассматриваемом участке. При этом предусматривалась организация постоянных наблюдений за деформациями насыпи и основания (п. 5 работы [4]).

Принятие того или иного конструктивно-технологического решения зависит как от экономических показателей строительства, так и, в первую очередь, от физико-механических свойств грунтов, слагающих основание. По данным лабораторных испытаний образцов грунтов ненарушенной структуры компрессионный модуль деформации мягко-, текучепластичных и текучих суглинков и глин в пределах давлений  $1,0-2,0$  кГс/см<sup>2</sup> изменяется от  $E_k = 1,4$  МПа до  $E_k = 1,8$  МПа, угол внутреннего трения  $\varphi = 5^\circ-16^\circ$ , сцепление  $C = 0,010-0,018$  МПа, т.е. эти грунты относятся к сильносжимаемым с очень низкой прочностью. Расчетное сопротивление таких грунтов при проектировании искусственных сооружений  $-R_0 = 0$ .

При использовании метода их уплотнения временной нагрузкой (пригрузом) в процессе консолидации можно достичь более высоких прочностных и деформативных показателей. Следует иметь в виду, что основание в процессе эксплуатации будет работать на кривой повторной компрессии, т.е. величина компрессионного модуля выше первичного

модуля и соответствует меньшим значениям коэффициентов пористости, а параметры сдвига соответствуют параметрам, полученным при данном давлении в условиях консолидировано-дренированного состояния.

Повторные изыскания были проведены в 2008 г. после построечного уплотнения грунтов земполотна и основания. Образцы грунтов отбирались в местах расположения предыдущих скважин.

В процессе обработки опытных данных были построены кривые консолидации по методу Тэйлора в соответствии с ГОСТ 12248–96 [2] с целью определения параметров фильтрационной консолидации: коэффициентов консолидации  $c_v$ , времени  $t_{90}$  и полной консолидации  $t_{100}$ , а также определения начала фильтрационной консолидации (таблица).

### Параметры кривых консолидации грунта при $P = 0,05$ МПа

| № скв.        | ИГЭ | $t_{90}$ (корень) | $t_{90}$ | $t_{100}$ (лог.) | $t_{50}$ (лог) | $t_{100}$ | $t_{50}$ |
|---------------|-----|-------------------|----------|------------------|----------------|-----------|----------|
| C1, H = 7,3   | 4   | 1,206             | 1,454    | 1,778            | 0,643          | 60,0      | 4,40     |
| C2, H = 4,5   | 4   | 3,55              | 12,603   | 2,495            | 1,3395         | 312,61    | 21,85    |
| C2, H = 6,0   | 4   | 2,862             | 8,191    | 1,165            | 0,4305         | 14,62     | 2,69     |
| C2, H = 7,5   | 4   | 0,966             | 0,933    | 2,079            | 1,2115         | 119,95    | 16,27    |
| C2, H = 8,5   | 5   | 1,09              | 1,188    | 3,010            | 0,8785         | 1023,30   | 7,56     |
| C3, H = 4,6   | 4a  | 1,942             | 3,771    | 2,258            | 0,499          | 181,13    | 3,155    |
| C3, H = 7,0   | 4a  | 1,332             | 1,774    | 3,028            | 1,6305         | 1066,60   | 42,71    |
| C3, H = 8,2   | 2   | 4,14              | 17,140   | 0,902            | 1,4675         | 29,34     | 7,98     |
| C4, H = 3,5   | 4a  | 2,08              | 4,326    | 2,145            | 1,0265         | 139,64    | 10,63    |
| C4, H = 6,3   | 4   | 1,84              | 3,386    | 1,874            | 0,3475         | 74,92     | 2,23     |
| C5, H = 4,0   | 4   | 1,098             | 1,206    | 3,057            | 0,699          | 1140,25   | 5,0      |
| C5, H = 5,3   | 4   | 1,228             | 1,508    | 2,611            | 0,979          | 408,32    | 9,53     |
| C5, H = 6,6   | 4a  | 1,102             | 1,214    | 1,700            | 1,176          | 50,19     | 15,0     |
| C6, H = 4,0   | 4   | 1,73              | 2,993    | 1,400            | 0,216          | 25,19     | 1,64     |
| C6, H = 5,0   | 4a  | 1,942             | 3,771    | 2,415            | 0,3705         | 260,02    | 2,35     |
| C6, H = 8,0   | 5   | 2,1               | 4,410    | 1,378            | 0,3405         | 23,88     | 2,19     |
| C7, H = 3,0   | 2a  | 1,774             | 3,147    | 2,507            | 0,3705         | 321,37    | 2,35     |
| C7, H = 5,0   | 2a  | 2,818             | 7,941    | 1,032            | 0,374          | 10,76     | 2,37     |
| C7, H = 7,0   | 4a  | 2,086             | 4,351    | 1,387            | 0,2605         | 24,38     | 1,82     |
| C8, H = 3,0   | 4a  | 2,534             | 6,421    | 1,966            | 0,506          | 92,47     | 3,21     |
| C8, H = 4,0   | 4   | 2,286             | 5,226    | 2,025            | 0,301          | 105,92    | 2,0      |
| C8, H = 5,0   | 4   | 2,528             | 6,391    | 1,577            | 0,682          | 37,76     | 4,81     |
| C8, H = 5,7   | 4a  | 2,43              | 5,905    | 2,230            | 0,72           | 169,82    | 5,25     |
| C9, H = 7,0   | 4a  | 1,964             | 3,857    | 2,279            | 0,2115         | 190,11    | 1,63     |
| C9, H = 8,3   | 4a  | 2,376             | 5,645    | 1,189            | 0,327          | 15,45     | 2,12     |
| C9, H = 8,7   | 4   | 1,502             | 2,256    | 2,542            | 0,942          | 348,34    | 8,75     |
| C9, H = 10,0  | 4a  | 1,878             | 3,527    | 2,947            | 0,477          | 885,12    | 3,0      |
| C10, H = 7,3  | 4   | 1,872             | 3,504    | 2,845            | 2,134          | 699,84    | 136,1    |
| C10, H = 9,0  | 4   | 2,044             | 4,178    | 2,873            | 0,5625         | 746,45    | 3,65     |
| C10, H = 10,0 | 4a  | 2,754             | 7,585    | 2,201            | 0,4215         | 158,85    | 2,64     |

Испытания на консолидацию проводились при давлении  $p = 0,05$  МПа ( $0,05$  кгс/см<sup>2</sup>), что не соответствует реальному давлению на кровлю слабого слоя, особенно учитывая вторичную консолидацию. Как показано в работах [1, 3], при одинаковых начальных состояниях кривые консолидации при малых давлениях ( $0,05$ – $0,2$  МПа) подобны и получаемые значения времени консолидации образцов отличаются незначительно.

Нами по результатам испытаний были заново построены кривые консолидации по методу Тэйлора ( $\sqrt{t}$ ) (для определения начала фильтрационной консолидации) и по методу Казагранде ( $\lg t$ ) для определения конца фильтрационной консолидации и начала вторичной (пластической) консолидации [1].

На основе анализа результатов испытаний было установлено, что одновременно с фильтрационной консолидацией протекает пластическая консолидация, в процессе которой в ряде опытов происходила просадка грунта, что означало разрушение его структуры (наличие сдвиговых деформаций). Кроме того, полученные данные подтвердили, что мы имеем дело с повторной компрессией. Поэтому испытания на консолидацию при малых давлениях не дают возможности получить достоверные характеристики фильтрационной консолидации.

Полученные нами параметры кривых консолидации, приведенные в таблице, показали большой разброс значений коэффициентов и времени консолидации слабых грунтов, вне зависимости от значений показателя текучести  $I_L$ , содержания глинистых частиц ( $q \leq 0,005$ ) и числа пластичности  $I_p$ .

По данным Н.Н. Маслова [3], время фильтрационной консолидации  $T_n$  реального слоя глинистого грунта мощностью  $H$  по отношению ко времени консолидации  $t_h$  опытного образца высотой  $h$  находится в степенной зависимости –  $T_n = (H/h)^n t_{100}$ . Показатель степени  $n$  зависит от числа пластичности  $I_p$  и показателя текучести  $I_L$  глинистого грунта.

Н.Н. Маслов на основе многочисленных исследований построил графики этих зависимостей, приведенные в работе [3]. По этим графикам для грунтов мягко- и текучепластической консистенции нами были приняты значения показателей степени соответственно  $n = 1,6$  и  $n = 1,7$ .

По данным обработки лабораторных испытаний величины времени полной консолидации слабого основания для участков с аналогичными грунтовыми условиями зависят от высоты земполотна и размеров активной и расчетной сжимаемой толщи.

Об окончании процесса консолидации можно также судить по сопоставлению теоретических и фактических значений осадок. Расчеты осадок проводились в соответствии с рекомендациями пособия [4] по приближенной формуле (38) и по методу Лобанова [5].

Для проведения приближенных расчетов осадок и прочности основания опытного участка нами были приняты по Прил. Л.7 пособия [4] с учетом прил. 1 СНиП 2.02.01–83\* [7] следующие значения механических параметров слабых грунтов основания и земполотна для средней величины показателя текучести  $I_L = 0,75$ : модуль деформации  $E = 10,0$  МПа; угол внутреннего трения  $\varphi = 12^\circ$ ; удельное сцепление  $C = 10$  кПа.

По расчету полная осадка насыпи высотой 8,0 м по оси земполотна составила 68,0 см, при учете движения тяжелого автотранспорта она возросла до 98,0 см.

Теоретические величины осадок были сопоставлены с фактическими значениями, полученными с помощью осадочных марок. Марки для измерения вертикальных перемещений устанавливались по оси земполотна и на расстояниях около 3,0 м справа и слева от нее. Марки для измерения горизонтальных перемещений располагались на расстоянии 2,0 м от подошвы насыпи на глубине 0,5–1,0 м от поверхности земли. Наблюдения за осадками проводились постоянно в процессе сплошной отсыпки насыпи и после ее возведения на полную высоту на протяжении нескольких месяцев.

Значения горизонтальных перемещений верхнего слоя основания за пределами насыпи оказались незначительными, сопоставимыми с точностью измерений.

Графики развития вертикальных перемещений показывают, что наиболее значительные осадки были получены по оси земполотна в процессе его возведения примерно через 15 дней после укладки каждого слоя. Затем в течение месяца происходила их стабилизация, и от октября до марта следующего года дальнейший рост осадок не наблюдался. В середине марта по готовому участку земполотна был пущен построечный транспорт, вызвавший дальнейшее увеличение осадок, соответствующее возросшим нагрузкам. При этом стабилизация осадок в связи с динамическим и кратковременным характером транспортных нагрузок оказалась более длительной – она происходила в течение двух месяцев. Это означает, что дальнейший рост нагрузок приводит к увеличению осадок и сроков консолидации.

По данным натурных наблюдений были получены следующие значения осадок: в начале опытного участка полная осадка составила 22,0 см, в середине – достигла значительной величины 58,0–62,0 см.

Как видно, наблюдаемые и рассчитанные величины осадок от собственного веса насыпи оказались близки. На границе опытного участка и участка, возведенного без применения рассматриваемой технологии, произошло разрушение основания с образованием трещины сдвига на поверхности земполотна.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что одновременно с процессом фильтрационной консолидации вследствие вторичной консолидации происходит пластическая консолидация, которая для слабых грунтов сопровождается потерей прочности основания – разрушением структуры грунта.

### Список литературы

1. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов: (Напряженно-деформативные и прочностные характеристики).– М.: Стройиздат, 1979. – 304 с.
2. ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
3. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними): учеб. пособие для вузов.– М.: Стройиздат, 1977. –320 с.
4. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах/ Федеральное дорожное агентство.– М.: 2004. – 252 с.
5. Проектирование и строительство автомобильных дорог: справочник /под ред. В.Й. Заворицкого. – Киев: Техника, 1996. – 383 с.
6. СНиП 2.05.02–85\*. Автомобильные дороги.
7. СНиП 2.02.01–83\*. Основания зданий и сооружений.

Получено 2.08.2010