

А. А. ЛУГА

ВЛИЯНИЕ ЛЕДНИКОВЫХ НАГРУЗОК НА ОБЖАТИЕ НЕКОТОРЫХ ГРУНТОВЫХ ТОЛЩ ПРИБАЛТИКИ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 24 VI 1954)

Северо-западная часть Русской равнины, некогда подвергалась уплотняющему действию мощных ледников. Позднейшие отложения, включая и морсну последнего оледенения, скрывают отложения, более ранних оледенений. Эти отложения часто встречаются в пределах глубин, имеющих значение для фундаментостроения. Будучи в ряде случаев весьма незна-

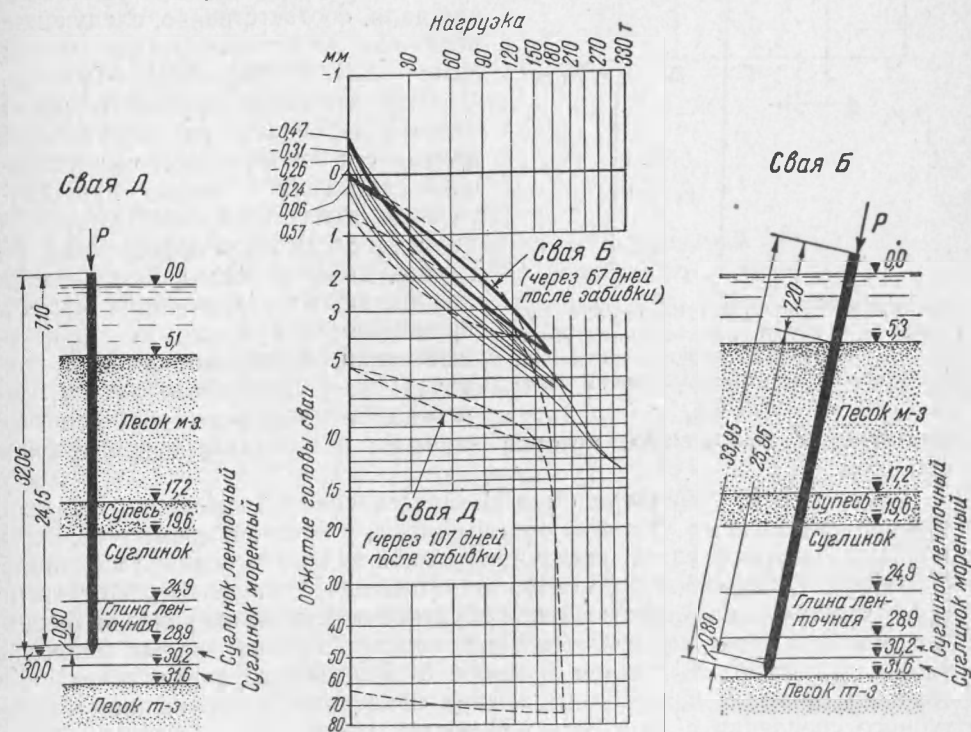


Рис. 1

чительными по мощности, они являются определителями тех плоскостей, ниже которых залегают уже грунтовые толщ, некогда спрессованные давлением мощных толщ льда, по своему воздействию значительно превышавшими современную природную нагрузку.

На рис. 1 приведены результаты статических испытаний стальных трубчатых свай Д и Б, диаметрами 63 см, длиной 32 ÷ 34 м, забитых на глубину 30,0—31,6 м ниже дневной поверхности. Свая Д остановлена в ленточном суглинке — послеледниковом образовании. Свая Б опирается на кровлю тонкозернистых песков, обжатых древней ледниковой нагрузкой. Графики осадка — нагрузка этих свай, наложенные один на другой и построенные для наглядности в логарифмических координатах, подчеркивают резкое различие в их работе.

Кривая осадка — нагрузка сваи *Д* характерна для большинства висячих свай. Петля гистерезиса, снятая с 135 т, дала величину остаточной осадки сваи в 0,57 мм, от нагрузки в 180 т остаточная осадка превысила 5 мм, а нагрузка в 200 т фактически явилась для этой сваи разрушающей по грунту. Для сваи *Б* снятие петель гистерезиса вскрыло особенно-

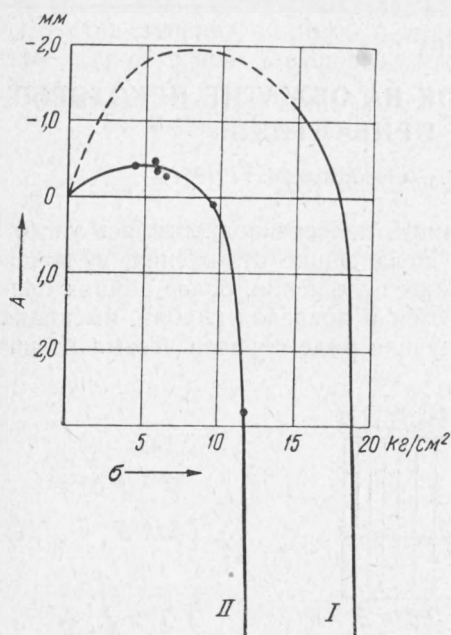


Рис. 2. σ — расчетное напряжение на грунт; A — остаточная величина обжатия; I — хазарские глины Прикаспия; II — древние подморенные пески Прибалтики

вращения к положению, которое занимали некогда, в геологическом прошлом.

Работы П. А. Ребиндера ⁽⁴⁾ и Н. Я. Денисова ⁽¹⁾ позволяют считать, что при уменьшении давления объем породы, у которой, кроме того, нарушены структурные связи, увеличивается как за счет мгновенно восстанавливающейся упругой деформации, так и благодаря поверхностной энергии (адсорбционных сил), вызывающей обратное перемещение ранее вытесненных молекул воды, проявляющееся в виде утолщения водных пленок в местах контактов. В данном примере отрицательные значения величин обжатия древних подморенных песков объясняются нарушением структурного сцепления в этой песчаной толще, ранее образовавшегося в результате весьма длительного их обжатия очень большим давлением от ледниковой нагрузки. Будучи нарушенным, структурное сцепление более не удерживало эти насыщенные водой песчаные породы от восстанавливающих деформаций с ясно выраженным последствием.

Рассмотрение результатов ряда испытаний позволяет высказать мнение, что для переуплотненных древних подморенных песков существует некоторое оптимальное напряжение, при снятии которого подобные пески дадут максимальное отрицательное значение остаточных величин (A) обжатия. Превышение этого давления приводит уже к повторному восстановлению структурных связей и к дальнейшему уплотнению песков — к необратимым процессам в грунтовом массиве, сопровождающимся ростом остаточных величин осадок. Кривая значений A для древних подморенных песков Прибалтики приведена на рис. 2 в сопоставлении с аналогичной кривой для хазарских глин Прикаспия ⁽³⁾. Максимальное

сти в работе сваи и грунтовой толщи, на которую она опирается; они остались бы незамеченными, если бы нагрузка постепенно, без разгрузок, была доведена до разрушающей по грунту.

После нагрузки сваи *Б* до 180 т и последующей полной ее разгрузки остаточная осадка головы сваи получила отрицательное значение ($A = -0,47$ мм). Последующие нагрузки до 190, 210, 180 и 316 т с полными разгрузками в каждом случае дали, соответственно, следующие величины остаточных осадок головы сваи: $-0,31$, $-0,26$, $-0,24$, $+0,06$ мм.

Относительная крупность зерен песка и неровности их поверхностей приводят к возникновению структурного сцепления в песках при длительном обжатии их большим давлением. Последующая посторонняя нагрузка, даже меньшая, чем древняя природная, но относительно кратковременная, нарушает эти структурные связи, и так же как и в глинах ⁽¹⁻³⁾, у песков появляется возможность некоторого упругого воз-

отрицательное значение A для древних подморенных песков Прибалтики оказалось примерно в 4 раза меньше, чем аналогичное значение A для хазарских глин. Древние подморенные суглинки и глины (в частности кембрийские) в принципе ведут себя аналогично переуплотненным глинам Прикаспия (¹⁻³). В хазарских глинах нарушение структурных связей приводит как к восстановлению упругих деформаций, так в основном и к крайне мощному развитию процессов набухания; в связи с этим максимум кривой A примерно соответствует древней природной нагрузке, после чего отрицательные значения A начинают постепенно убывать и достигают нуля при нагрузках, близких к двойной древней природной. У древних подморенных песков Прибалтики нарушение структурных связей приводит в основном к восстановлению упругих деформаций и сравнительно незначительно — к структурно-адсорбционным деформациям. При

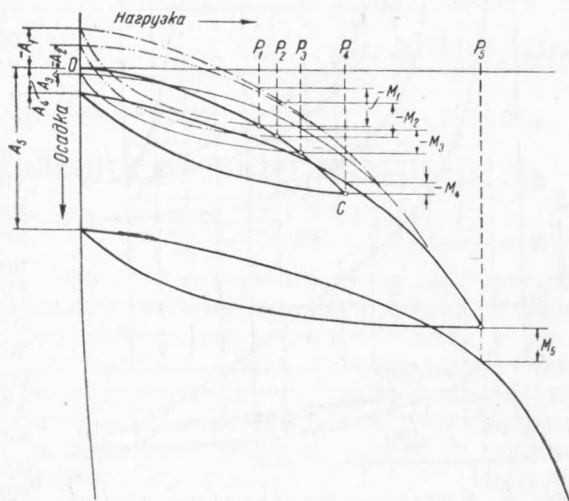


Рис. 3

обжатии свайной нагрузкой переуплотненных песчаных толщ, вследствие разрушения структурных связей и некоторого разуплотнения песков, имеет место и другое явление, не присущее непереуплотненным грунтам (см. рис. 3).

Свая, опирающаяся на переуплотненную песчаную толщу, обжимается нагрузкой P_4 и затем полностью разгружается. Остаточная величина осадки при этом составляет положительную величину A_4 . Последующая повторная загрузка сваи до P_4 дает пересечение ветвью нагрузки не ветви разгрузки, а предыдущей ветви нагрузки — на некоторую величину — M выше точки C . Для непереуплотненных грунтов всегда имеет место пересечение ветвью нагрузки ветви разгрузки (положительная величина M) — необратимый процесс в грунтовом массиве. Для переуплотненных грунтовых толщ необратимые процессы наступают при значительно больших нагрузках (P_5). При разгрузках с $P < P_4$ остаточные величины осадок могут иметь как отрицательные ($P_1 — A_1$; $P_2 — A_2$), так и положительные значения ($P_3 — A_3$), а величина M для всех этих случаев загрузок будет иметь отрицательное значение. При снятии петель гистерезиса с нагрузок $P > P_4$ отрицательные значения величины M постепенно приближаются к нулю — повторная ветвь нагрузки при некотором значении P вновь вернется в точку C . Дальнейшее повышение нагрузок приводит к необратимым процессам и в переуплотненной грунтовой толще, но напряжения от этих нагрузок будут уже более напряжений переуплотнения.

В лабораторных условиях были прослежены процессы, которые протекали в природе в течение сотен тысяч лет и были вскрыты исследованием работы глубоко забитых свай. Измерения производились индикаторами часового типа с точностью отсчета показаний в 0,0002 мм. Опыты проводились с тонкозернистым песком с удельным весом 2,65 следующего granulометрического состава (анализ пипет-методом):

Франции в мм	1,0 — 0,5	0,5 — 0,25	0,25 — 0,1	0,1 — 0,05	0,05 — 0,01	0,01 — 0,005	0,005 — 0,002	0,002 — 0,001	< 0,001
Содержание в %	1,85	6,43	68,67	9,48	9,82	0,83	1,01	0,76	1,15

Степень плотности укладки песка была различной, но схема явлений оставалась одинаковой. На рис. 4 приводится результат одного из таких опытов, который проводился в

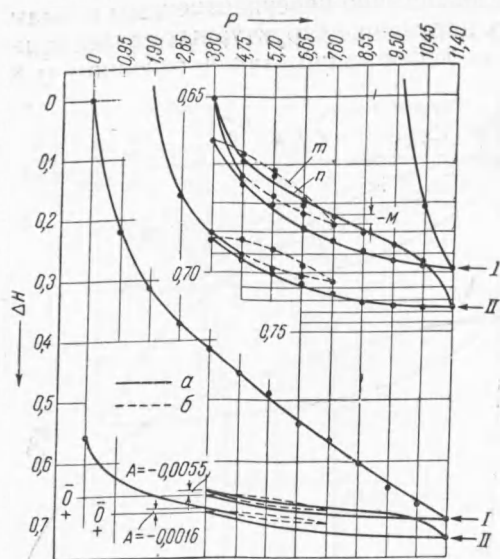


Рис. 4. Кривая осадка — нагрузка образца песка, обжатого в компрессионном приборе. P — напряжение в кг/см^2 ; ΔH — величина обжатия в миллиметрах; a — загрузка ступенями по $0,95 \text{ кг/см}^2$ после достижения затухания осадки не более $0,01 \text{ мм}$ за $0,5$ часа, при разгрузках затухание осадки принималось близким к нулю за $0,5$ часа; b — загрузка и разгрузка ступенями по $0,95 \text{ кг/см}^2$ через 1 мин. не ожидая затухания деформации; I — выдержка до затухания в $0,0100 \text{ мм}$ за 9 час. ; II — в $0,0005 \text{ мм}$ за 24 часа

компрессионном приборе без арретира. Высота кольца $H = 20,00 \text{ мм}$. Песок был уложен на пределе насыщения, при объемном весе $1,795$, влажности $13,14\%$ и пористости $40,00\%$ и подвергнут обжатию ступенчатой нагрузкой, по $0,95 \text{ кг/см}^2$, до напряжения в $11,40 \text{ кг/см}^2$ (имитация древней ледниковой нагрузки) с выдержкой под этим напряжением до затухания осадки в $0,0100 \text{ мм}$ за 9 час. После этого была произведена осторожная разгрузка до напряжения $3,80 \text{ кг/см}^2$ (имитация современного природного давления) с выдержкой затухания деформации до величины, близкой к нулю за $0,5 \text{ часа}$. Затем, имитируя воздействие свайной нагрузки, песок был подвергнут загрузке с темпом одна ступень ($0,95 \text{ кг/см}^2$) в минуту, не ожидая затухания деформации, до напряжения в $7,60 \text{ кг/см}^2$, после чего образец в этом же темпе был разгружен до $3,80 \text{ кг/см}^2$, с выдержкой затухания деформации до величины, близкой к нулю за $0,5 \text{ часа}$.

Принимая (рис. 4) за нуль высоту образца после его осторожной разгрузки с $11,40 \text{ кг/см}^2$ до $3,80 \text{ кг/см}^2$, при вторичной, форсированной, разгрузке, после предшествовавшей форсированной частичной его загрузки, получено увеличение высоты образца на $A = 0,0055 \text{ мм}$.

Этот же образец, находившийся под напряжением в $3,80 \text{ кг/см}^2$, был вновь подвергнут обжатию ступенчатой нагрузкой до $11,40 \text{ кг/см}^2$, но с выдержкой под этим напряжением до затухания осадки в $0,0005 \text{ мм}$ за 24 часа , после чего он вновь был подвергнут силовым воздействиям по вышеописанным циклам. Величина A при этом снизилась до $0,0016 \text{ мм}$, а ветви (m и n) нагрузок пересеклись и было получено отрицательное значение величины M . После полной разгрузки образца объемный вес его составлял $1,93$, влажность $10,39\%$, пористость $34,34\%$. При такой методике были в схеме обнаружены те же явления, которые имели место при обжати свайной нагрузкой древней, послеледниковой песчаной толщи.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
железнодорожного строительства и проектирования

Поступило
4 V 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Я. Денисов, О природе деформаций глинистых пород, М., 1951.
- ² А. А. Луга, ДАН, 90, № 6 (1953).
- ³ А. А. Луга, ДАН, 94, № 5 (1954).
- ⁴ П. А. Ребиндер, Физико-химические исследования процессов деформации твердых тел, Изд. АН СССР, Юбил. сборник, посвящ. 30-летию Великой Октябрьской революции, ч. I, 1947.