

Сернов В.А., магистр техн. наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Исследование напряженно-деформированного состояния грунта в межсвайном пространстве

Investigation of the mode of deformation of pile space ground

В статье приведены результаты модельных исследований напряженно-деформированного состояния грунта межсвайного пространства выполненных в лаборатории кафедры «Геотехника и экология в строительстве». Проведен сравнительный анализ полученных данных с результатами исследований других авторов. Установлено что напряжения и деформации в основании ростверка и фундамента на естественном основании аналогичны.

The results of model investigation of the mode of deformation of pile space ground carried out at the department of “Geotechnics and ecology in the building” are described. Comparative analysis of the acquired data with research results of other authors is given. Ascertained that stresses and deformations of the ground under the piled raft and Shallow foundations are similar

Традиционный подход к проектированию свайных фундаментов предполагает, что вся нагрузка от сооружения передается на основание сваями. Принимается, что грунт межсвайного пространства оседает совместно с группой свай. Однако это предположение противоречит многочисленным экспериментальным данным, полученным различными авторами.

Исследования перемещений частиц грунта в активной зоне свайного фундамента выполнены в лаборатории кафедры «Геотехника и экология в строительстве» для моделей свайных фундаментов (рис. 1) в лотке с прозрачной стенкой (рис. 2). Лоток заполнен песком средней крупности. Укладка осуществлялась слоями по 5 см с уплотнением трамбовкой до значения 18 кН/м^3 . Через 5 см по высоте выполнены индикационные полоски из мела для измерения вертикальных

деформаций грунта. Сваи забивались вплотную к стеклу на расстоянии $3d$ и $6d$ друг от друга. Сечение свай 2×2 см, длина $L=15$ и 30 см, ширина ростверка $B=15$ и 27 см. Перемещения частиц грунта в основании свай и в межсвайном пространстве фиксировались на фотопленку как в процессе забивки свай, так и при нагружении отдельных свай и их групп с высокими и низкими ростверками.

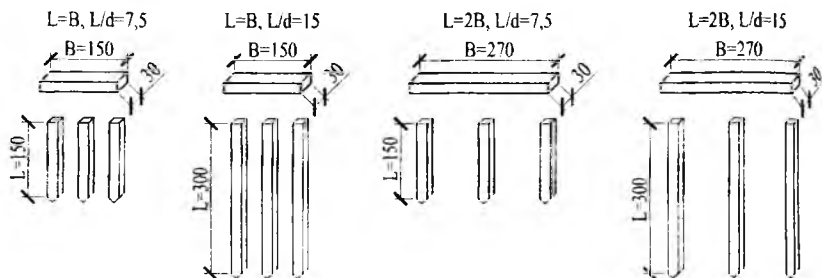


Рис. 1. Модели свайных фундаментов

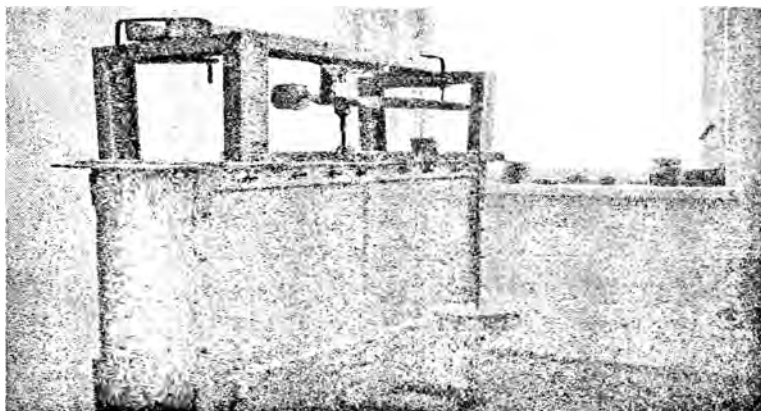


Рис. 2. Опытная установка

Исследования показали, что при забивке свай грунт в верхней части разуплотняется до глубины $4d$ (d – диаметр свай), поверхность грунта поднялась на высоту $1d$. Выпор грунта у поверхности

наблюдается в радиусе $3d$ от сваи. С увеличением глубины забивки (свыше $4d$) поднятие грунта не наблюдается, происходит его уплотнение. При загрузке свайного фундамента с высоким ростверком наблюдаются 2 зоны деформации грунта основания: первая непосредственно под свайей и вторая на глубине $2-2,5d$ от ее острия. Первая зона деформации образуется от давления под нижним концом данной сваи и аналогична зоне деформации одиночной сваи, вторая – является результатом группового эффекта и образуются за счет вертикальных напряжений в грунте от сил трения вдоль боковых поверхностей свай. Деформации первой зоны намного больше, чем второй. Проведенные исследования для групп свай с межсвайным расстоянием $a=3d$ и $a=6d$ показывают, что в обоих случаях грунт межсвайного пространства деформируется лишь непосредственно у боковой поверхности свай. Таким образом, грунт, уплотненный между сваями, не оседает вместе с ними и способен воспринимать часть нагрузки от ростверка. На рис. 3 приведены деформации грунта в основании свайного фундамента с шагом свай $a=3d$.

При включении в работу ростверка под его подошвой возникают напряжения, и грунт основания деформируется как под фундаментом на естественном основании. С глубиной эти напряжения затухают и на расстоянии $h \approx 2B$ (где B – ширина ростверка) полностью рассеиваются. Эпюры деформаций грунта в межсвайном пространстве и ниже уровня свай, построенные по результатам исследований приведены на рисунке 3.

Аналогичные исследования траектории движения частиц грунта в основании свай и ростверка проведены В.А. Кондрашовым [1] на моделях забивных свай в грунтовом лотке с прозрачной передней стенкой. Варьировались шаг свай, их длина и тип ростверка. При осадке группы свай без ростверка деформации межсвайного грунта происходят в непосредственной близости от боковой поверхности свай и под их нижними концами. Грунт межсвайного пространства не оседает (рис. 4а, 4в, 4д). При осадке свайного фундамента с низким ростверком в работу включается межсвайный грунт (рис. 4б, 4г, 4е). Максимальные осадки грунта в межсвайном пространстве наблюдаются непосредственно под подошвой ростверка и с глубиной затухают как под фундаментом на естественном основании. Сравнивая эпюры деформаций грунта можно заключить, что при

отношении $L/d=10$ и шаге свай $a=3d$ в межсвайном пространстве затухает около половины напряжений от взаимодействия ростверка с грунтом. Другая половина создает дополнительную пригрузку в уровне нижних концов свай и должна учитываться при расчете осадки фундамента. При отношении $L/d=20$ напряжения от взаимодействия ростверка с основанием полностью рассеиваются в грунте межсвайного пространства. В этом случае можно считать, что группа свай и ростверк работают раздельно.

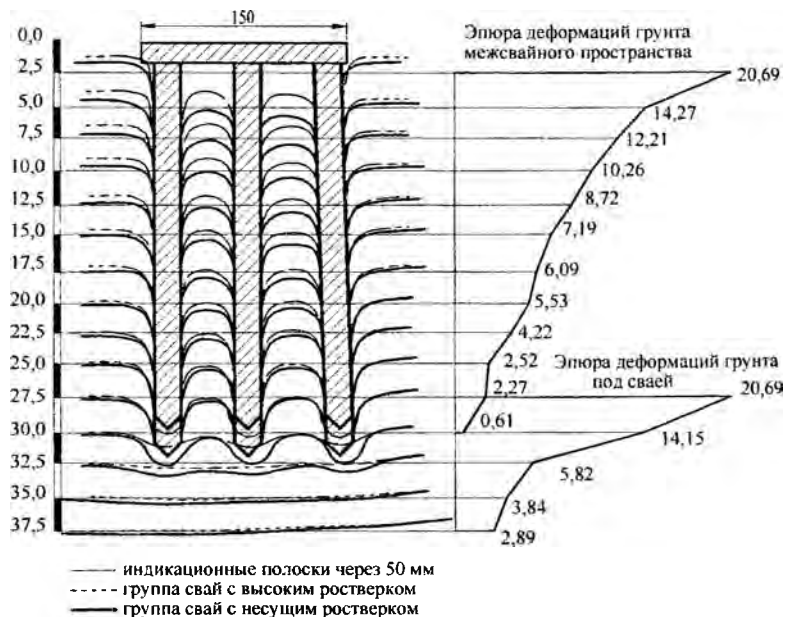


Рис. 3. Деформации грунта основания при работе свайного фундамента

На основании результатов исследований моделей и натурных свайных фундаментов можно сделать вывод, что грунт в межсвайном пространстве не оседает вместе со сваями при загрузке группы с высоким ростверком и способен воспринимать значительную часть нагрузки от сооружения через подошву ростверка.

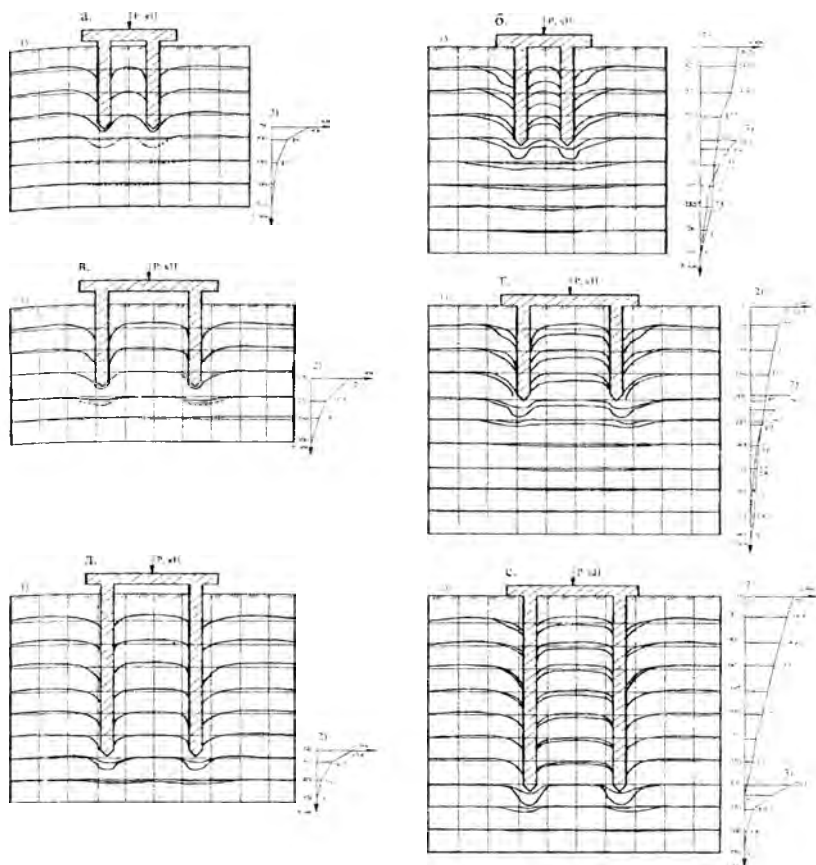


Рис. 4. Деформации грунта в основании свайного о фундамента: а – $L/d=10$, $a=3d$, высокий ростверк; б – $L/d=10$, $a=3d$, низкий ростверк; в – $L/d=10$, $a=6d$, высокий ростверк; г – $L/d=10$, $a=6d$, низкий ростверк; д – $L/d=20$, $a=6d$, высокий ростверк; е – $L/d=20$, $a=3d$, низкий ростверк (1 – общий вид деформаций; 2 – эпюра послойных перемещений грунта под ростверком; 3 – эпюра послойных перемещений грунта под острием свай; L – длина, d – ширина поперечного сечения, a – шаг свай)

Исследования напряженного состояния грунта в межсвайном пространстве, выполненные Л.Д. Козачком [2], показывают, что распределение напряжений в основании ростверка аналогично фундаменту на естественном основании. Эпюры напряжений в основании разных групп из 4-х и 9-ти свай с высокими и низкими ростверками даны на рис. 5. При взаимодействии ростверка с основанием

часть нагрузки передается на верхние слои грунта и несущая способность основания используется более полно. Напряженное состояние грунта межсвайного пространства и по внешнему контуру группы свай определяется силами трения вдоль их боковых поверхностей и давлением ростверка на грунт. Силы трения возрастают с глубиной, напряжения от ростверка, наоборот, рассеиваются. В итоге получается седлообразная эпюра с минимальным значением в точке равных напряжений от сил трения вдоль боковых поверхностей свай и сопротивления ростверка.

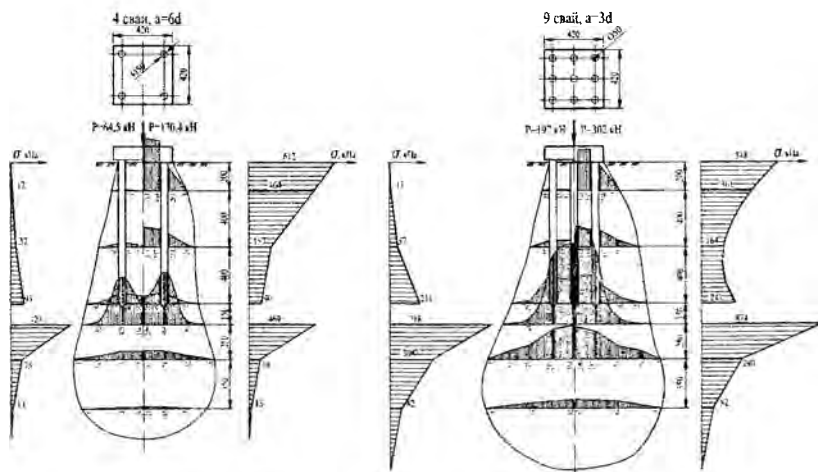
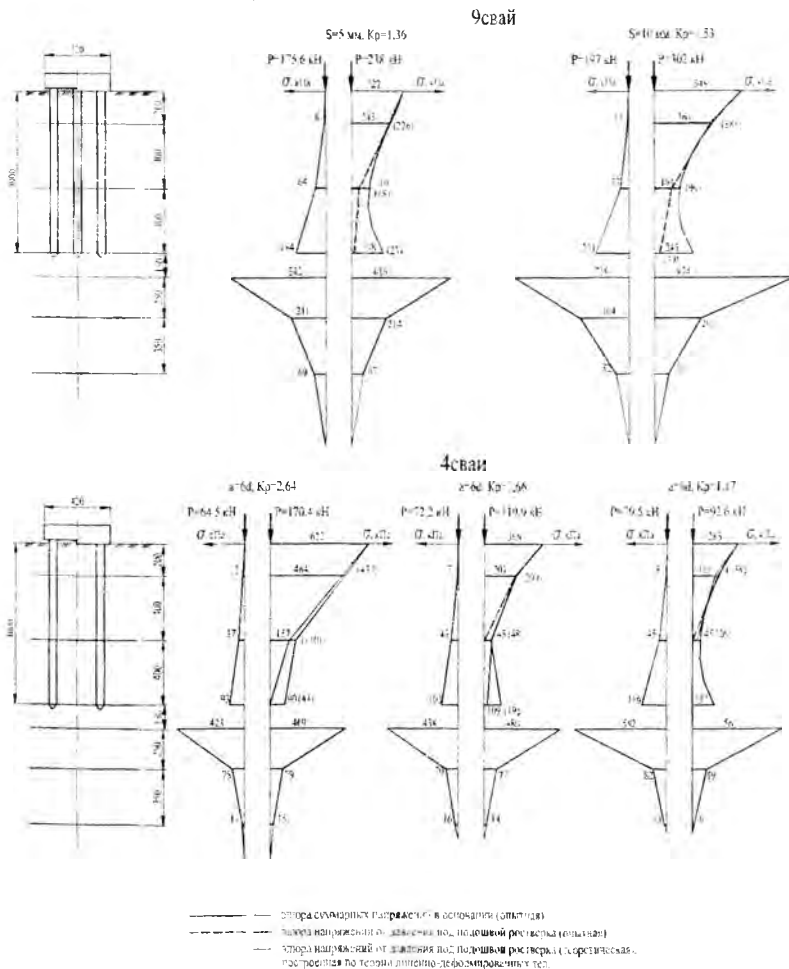


Рис. 5. Напряженное состояние грунта в основании групп из 4-х свай с шагом $a=6d$ и 9-ти свай с шагом $a=3d$ с высокими и низкими ростверками

Деформации грунта в межсвайном пространстве, зафиксированные при испытании моделей затухают на глубине $h \approx 2B$ (B – ширина ростверка). Эпюры вертикальных деформаций грунта под ростверком и фундаментом на естественном основании, полученные экспериментально (при давлении под подошвой $p < 0,3$ МПа), аналогичны. На рис. 6 представлены эпюры распределения напряжений в основании различных ростверков, построенные по экспериментальным данным [2] и по теории линейно-деформированных тел. Сравнение теоретических и опытных значений показывает их совпадение, даже при давлениях под ростверками свыше 0,6 МПа. Для расчета же фундамента на естественном основании схожих размеров по теории

линейно-деформированных тел, давление под подошвой должно быть не выше 0,24 МПа при заглублении $d=1$ м. Т.о. напряжения в межсвайном пространстве с высокой точностью можно определить по теории линейно-деформированных тел.



(в скобках – значения, полученные расчетом по теории линейно-деформированных тел)

Рис. 6. Экспериментальные и теоретические эпюры распределения напряжений в основании свайного фундамента

Из графиков на рис. 4.3 видим, что давления в основании группы свай с низким ростверком несколько выше, чем с высоким. Это происходит в случаях, когда напряжения под подошвой ростверка не полностью рассеялись по длине свай. Этот фактор необходимо учитывать при расчете осадки фундамента.

Группа свай под ростверком создает вертикальную анизотропию основания и препятствует выпору грунта из-под его подошвы. Этот фактор вызывает значительное увеличение несущей способности грунта в основании ростверка в сравнении с фундаментом на естественном основании. Предельная несущая способность защемленного между сваями грунта в основании ростверка происходит при осадках во много раз больших, чем осадки группы свай при расчетных нагрузках. В связи с этим сопротивление ростверка оценивается только расчетом основания по деформациям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашов, В.А. Исследование деформаций грунта основания моделей свайных фундаментов методом фотофиксации траектории движения грунтовых частиц / В.А. Кондрашов // Основания, фундаменты и подземные сооружения: труды пятой конференции молодых научных сотрудников. – М., 1970.

2. Козачок, Л.Д. Исследование распределения вертикальных напряжений в основании кустов висячих свай с низким ростверком: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Л.Д. Козачок. – Ленинград, 1979.