

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТАКТНОЙ ОБЛАСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ С ЖЕСТКИМ ШТАМПОМ В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Л.В. Халтурина

Приведены результаты экспериментального исследования напряженного состояния контактной области глинистого основания с жестким полосовым штампом и дана их сопоставительная оценка с результатами расчетов с использованием моделей линейно-деформируемой среды и идеально упругопластической среды.

Ключевые слова: грунтовое основание, контактные напряжения, расчетная модель.

Как известно, при расчете конструкций на сжимаемом основании с использованием модели линейно-деформируемой среды у краев абсолютно жесткого фундамента наблюдается бесконечное возрастание реактивных давлений. Данная особенность аналитического решения приводит к значительной переоценке расчетных значений изгибающих моментов и поперечных сил в фундаментных конструкциях. Применяемые расчетные модели во многом определяют достоверность инженерных расчетов, и как следствие надежность и эффективность строительных объектов. Наиболее достоверным способом оценки соответствия результатов расчета реальному поведению грунтовых оснований является их сравнение с результатами экспериментальных исследований.

В лабораторных условиях в лотке исследовалась контактная область грунтового основания и жесткого штампа с шероховатой подошвой. Размеры лотка (ширина 0,3 м, длина 3,0 м, высота 2,5 м) и большая жесткость его стен позволили создать условия плоской деформации. В качестве основания использовались маловлажные суглинки тугопластичной консистенции со следующими характеристиками: плотность $\rho = 1,95 \text{ т/м}^3$; коэффициент пористости $e = 0,60$; влажность $W = 0,15 \pm 0,02$; число пластичности $I_p = 0,12$; показатель текучести $I_L = -0,3$; модуль деформации $E = 8 \text{ МПа}$; угол внутреннего трения $\varphi = 26^\circ$; удельное сцепление $c = 0,04 \text{ МПа}$.

Для измерения напряжений в контактной области грунта со штампом были проведены четыре серии опытов с трехкратной повторяемостью. В каждом опыте в 35 фиксированных точках (рисунок 1) измерялись напряжения одного направления: вертикальные σ_z , горизонтальные σ_x , наклонные σ_n под углом

45° к вертикали (в плоскости возможных деформаций грунта), горизонтальные σ_y в направлении продольной оси штампа. Напряжения измерялись грунтовыми датчиками давления, положение которых для измерения напряжений в заданных направлениях представлено на рисунках 2 и 3. Опыты проводились в лаборатории Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета на кафедре «Инженерная геология, основания и фундаменты».

Нагружение основания (рисунок 4) производилось ступенями по $0,05 \text{ МН/м}^2$ до нагрузки $p = 0,35 \text{ МН/м}^2$, соответствующей условиям, близким к предельному состоянию основания.

Во всех опытах наблюдалось образование и раскрытие трещин на свободной поверхности грунтового основания уже при на-

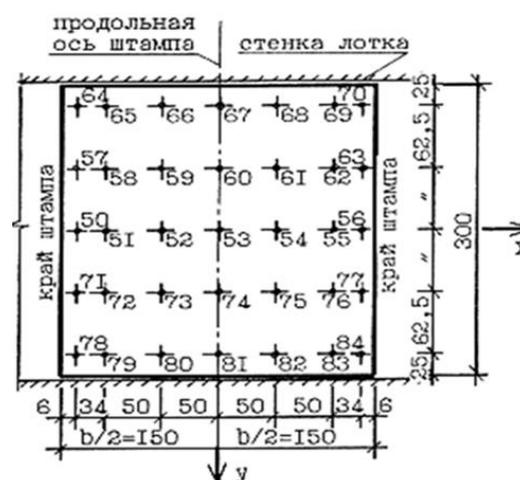


Рисунок 1 – Схема расположения датчиков давления в контактной области грунта со штампом (вид сверху)

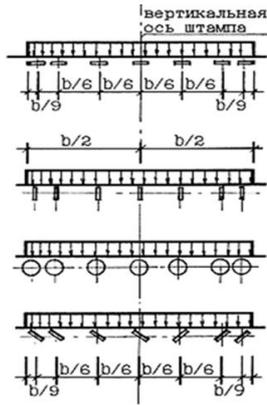


Рисунок 2 – Варианты положения датчиков под штампом для измерения напряжений σ_z , σ_x , σ_y , σ_H

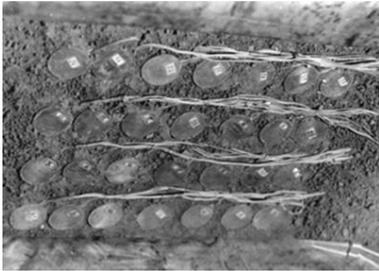


Рисунок 3 – Положение датчиков давления перед проведением опыта по измерению вертикальных напряжений

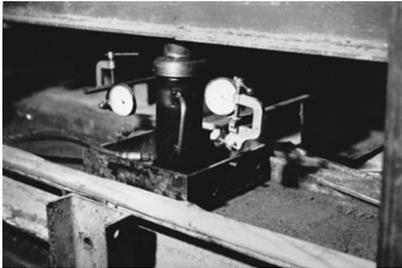


Рисунок 4 – Нагружение грунтового основания в лотке в условиях плоской деформации

грузке $p = 0,2 \text{ МН/м}^2$. Все трещины были параллельны граням штампа и ширина их раскрытия достигала $0,003 \text{ м}$. Штамп при нагружении получал значительные вертикальные перемещения и при максимальной нагрузке врезался в грунт на $0,03 \text{ м}$. Это свидетельствует о том, что локальные разрушения глинистого основания начинаются при сравнительно небольших нагрузках и с их ростом интенсивно развиваются. Эпюры измеренных компонент напряжений по результатам одного опыта представлены на рисунке 5, осредненные эпюры – на рисунке 6.

Равномерный характер эпюр измеренных напряжений вдоль штампа (поперек лотка), а также образование трещин на поверхности основания строго поперек лотка показали, что условия плоской деформации в опытах выполнялись достаточно хорошо. С учетом трехкратной повторности опытов для точек 50-52 получено по 30 значений каждого из измеренных компонент напряжений, для точки 53 – по 15 значений. Из рисунков 5 и 6 видно, что эпюры напряжений σ_z и σ_H в контактном слое глинистого основания имеют вогнутую форму. Значения σ_x в соответствующих точках существенно (до 5 раз) меньше σ_z . Распределение измеренных напряжений по ширине штампа более равномерное в начале загрузки. По мере увеличения внешней нагрузки происходит некоторая трансформация эпюр при более интенсивном возрастании крайних ординат эпюр σ_z и σ_H и промежуточных – на эпюре σ_x . В процессе роста нагрузки происходит сравнительно (с песчаными грунтами [2]) слабое перераспределение напряжений под подошвой жесткого шероховатого штампа, расположенного на основании, сложенном маловлажными суглинками тугопластичной консистенции.

Вычисленные (по измеренным нормальным напряжениям) касательные напряжения τ_{zx} , действующие по подошве штампа, направлены от его оси симметрии, что не согласуется с линейным решением (рисунок 7). При этом вызванные вертикальными реактивными давлениями изгибающие моменты, действующие в вертикальных сечениях штампа (фундамента), увеличиваются. Наибольшие напряжения τ_{zx} , установленные по измеренным нормальным, значительно превышают значения, полученные решением линейной задачи. Аналитические расчеты исследуемого основания выполнены с использованием наиболее применяемой и узаконенной строительными нормами [1] модели линейно-деформируемой среды и идеально упругопластической модели с предельной поверхностью, определяемой критерием Кулона-Мора (модель Кулона-Мора).

На рисунке 6 пунктиром показаны эпюры распределения вертикальных контактных напряжений σ_z , вычисленных с использованием модели линейно-деформируемой среды. Как видно, эпюры, построенные по результатам расчета, на всем диапазоне изменения нагрузок не меняют очертания, а экспериментальные с ростом нагрузки трансформируются - отношения крайних ординат к центральному увеличиваются от 1,1 до 1,6.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТАКТНОЙ ОБЛАСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ С ЖЕСТКИМ ШТАМПОМ В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

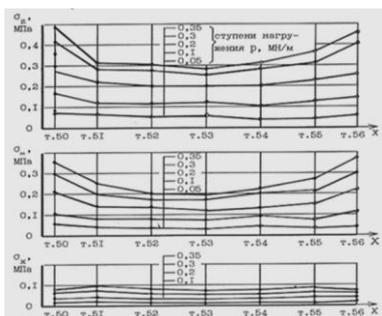


Рисунок 5 – Эпюры вертикальных σ_z , наклонных σ_n , горизонтальных σ_x напряжений в контактном слое (по результатам одного опыта)

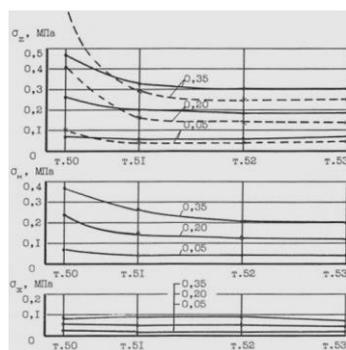


Рисунок 6 – Осредненные эпюры вертикальных σ_z , наклонных σ_n , горизонтальных σ_x напряжений в контактном слое: сплошная линия – опытные данные; пунктирная – расчетные данные по теории линейно-деформируемой среды; 0,05; 0,20; 0,35 МН/м² – ступени нагружения

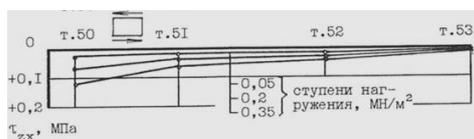


Рисунок 7 – Эпюры касательных напряжений τ_{zx} в контактной области грунтового основания со штампом

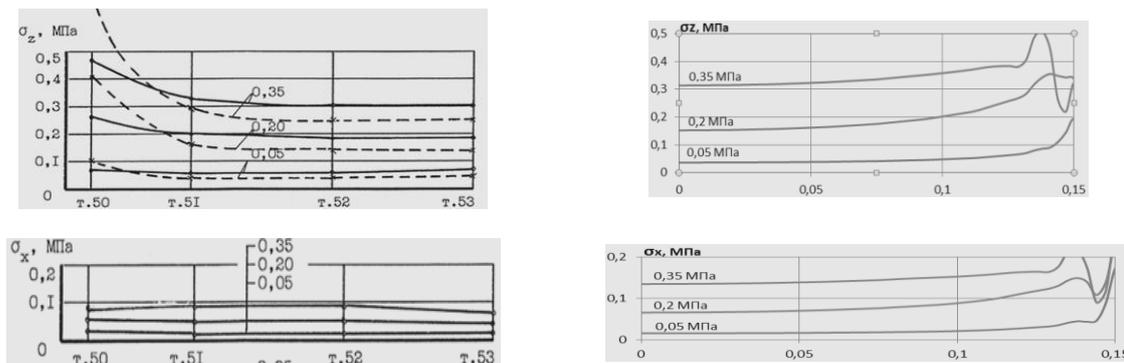


Рисунок 8 – Эпюры вертикальных σ_z и горизонтальных σ_x напряжений в контактной области грунта со штампом по опытным (слева) и расчетным с использованием модели Кулона-Мора (справа) данным

Ординаты опытных эпюр σ_z , в средней части подошвы штампа («точка» 53) примерно на 25% больше, чем у расчетных, а на расстоянии от грани штампа $x = 0,05b$ («точки» 50 и 56), расчетные ординаты превышают опытные на 42-58%. Как известно, в линейно-деформируемой среде эпюры вертикальных и горизонтальных напряжений σ_x и σ_z в контактном слое жесткого полосового штампа идентичны.

Сопоставление теоретических эпюр σ_z (σ_x) с опытными σ_x , свидетельствует о различиях их и по форме и по величине ординат: теоретические значения σ_x в средней части подошвы штампа при соответствующих нагрузках примерно в 4 раза больше экспериментальных. Вблизи граней штампа («точки» 50 и 56) в опытах с ростом внешней нагрузки наблюдается интенсивный рост σ_z при малорастущих σ_x . Это свидетельствует об интенсивном приближении напряженного состояния в рассматриваемой зоне основания к предельному, и различия экспериментальных и теоретических эпюр, обусловлены, прежде всего, развитием зон пластических деформаций грунта уже при нагрузках, не превышающих расчетного сопротивления грунта.

Пластические деформации учитывает идеально упругопластическая модель Кулона-Мора. Для рассматриваемого основания эта модель была реализована с использованием программы конечно-элементного анализа задач в области геотехники ICFEP (Imperial College Finite Element Program) [3]. В качестве исходных данных принимались вертикальные перемещения узлов сетки, принадлежащих подошве штампа.

Расчеты с использованием модели идеально упругопластической среды, как видно из рисунка 8, дают хорошую сходимость в распределении вертикальных напряжений σ_z в контактной области грунта со штампом с измеренными напряжениями на всем диапазоне возрастания нагрузки.

Теоретические горизонтальные напряжения σ_x , с увеличением нагрузки растут значительно интенсивнее, чем опытные и при нагрузках 0,2 и 0,35 МПа теоретические значения напряжений σ_x превышают опытные более чем в 2 раза. Эпюры, построенные с использованием модели идеально упругопластической среды, имеют максимальные значения в тех же точках, в которых в опытах были зафиксированы максимальные значения напряжений σ_z и σ_n . С ростом нагрузки максимальные значения эпюр смещаются от граней штампа к его центральной оси, а на расстоянии 0,1b от граней штампа при нагрузке 0,35 МПа происходит резкое падение всех компонент напряжений. Характер распределения напряжений, полученный с использованием модели идеально упругопластической среды, учитывающий пластические деформации в грунтовом основании, заметно сближает опытные и расчетные данные по сравнению с распределением напряжений, полученным с использованием теории линейно-деформируемой среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер распределения напряжений в грунтовом основании, в том числе по подошве фундамента, зависит от степени прибли-

жения напряженного состояния в различных зонах этого основания к предельному.

Распределение нормальных контактных напряжений по подошве жестких полосовых фундаментов и штампов, расположенных на основаниях, сложенных глинистыми грунтами (с характеристики подобными исследуемому грунту), до давлений соответствующих расчетному сопротивлению грунта без больших погрешностей можно считать равномерными, и в практических расчетах использование теории линейно-деформируемой среды вполне оправдано.

Нелинейная модель идеально упругопластической среды позволяет определять нормальные контактные напряжения при давлениях больше расчетного сопротивления грунта и во всем диапазоне возрастания нагрузок получать более точные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. – М., 2011. – 138 с.
2. Криворотов А.П. Результаты комплексного исследования напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований [текст] / А.П. Криворотов // Известия вузов. Строительство. – 1996. – № 5. – С. 7-15.
3. Potts, D. M. Finite element analysis in geotechnical engineering: theory / D. M. Potts, L. Zdravkovic. London: Thomas Telford Publishing, 1999. 440 p.

Халтурина Л.В. – к.т.н., доцент, Институт архитектуры и дизайна Алтайского государственного технического университета, E-mail: khalt.larisa@mail.ru.

УДК 69.059.7

РАЗВИТИЕ ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

И.В. Харламов, В.В. Перфильев, А.А. Сивоконь

Рассмотрены проблемы, возникающие при развитии застроенных территорий. Проведен анализ положительного опыта в их решении. Внесены предложения по повышению эффективности использования территории г. Барнаула.

Ключевые слова: развитие застроенных территорий, реновация, ветхое и аварийное жилье, расселение, застройщик, финансирование.

Острая проблема большинства городов – ограниченные возможности расширения территории для нового строительства. Россия и Сибирь – не исключение. Так, перспек-

тивные площадки под комплексную застройку в черте г. Новосибирска закончатся через год – другой. Наш город находится в излучине р. Обь, а также ограничен зоной аэропорта и

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2014