

С.В. Платонова

Сибирский государственный индустриальный университет

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ПОД ПОДОШВОЙ ЛЕНТОЧНЫХ ЩЕЛЕВИДНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАСЧЕТОВ, ПОЛУЧЕННЫМИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ «PLAXIS»

В настоящее время используются математические модели грунта разной степени сложности [1]. Преимущество простых моделей заключается в меньшем количестве входных параметров, а также в простоте и ясности определяющих уравнений. Результаты моделирования при этом могут не соответствовать реальным условиям работы [2, 3]. Сложные, усовершенствованные модели позволяют описать поведение грунта точнее, но они требуют более широкого набора характеристик грунта, а также достаточной осведомленности и опытности инженера при постановке задачи, выборе модели и ее параметров, а также при анализе полученных результатов расчета.

Для уточнения характера распределения напряжений по подошве фундаментов в лаборатории Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета проведены лабораторные испытания [4]. Исследовано напряженное состояние грунтового основания под подошвой ленточных щелевидных фундаментов (рис. 1). Ширина плиты $b_{пл}$ составляла 0,98 м, толщина стен $b_{ст}$ – 0,14 м, высота стен h фундамента – 0,6 м.

В экспериментах использовали твердый суглинок нарушенной структуры плотностью



Рис. 1. Трехщелевой фундамент

$\gamma = 1,95 \text{ г/см}^3$, естественная влажность W составляла 0,15, пластичность $J_p = 0,06$, показатель текучести $J_L = 0,58$, угол внутреннего трения $\varphi = 26^\circ$, сцепление $c = 0,04 \text{ МПа}$, модуль деформации суглинка $E = 8 \text{ МПа}$. Все физические и прочностные характеристики определены по стандартным методикам.

Для измерения напряжений под фундаментом и в грунтовом сердечнике использовали малые податливые датчики давления конструкции А.П. Криворотова [5], всего для выполнения экспериментов было изготовлено 64 датчика. Показания датчиков регистрировали автоматизированной тензометрической системой [6], в основе конструкции которой использован мост Уинстона. Тарировку датчиков осуществляли в заполненном исследуемым суглинком баке диам. 0,44 м, высотой 0,14 м. Плотность грунта в баке соответствовала плотности грунта в лотке.

Для измерения контактных напряжений в грунте было проведено четыре серии опытов с трехкратным повтором. Измеряли нормальные напряжения в плоскости возможных деформаций грунта (вертикальные σ_z , горизонтальные σ_x , наклонные σ_n (под углом 45° к вертикали)) и в направлении продольной оси штампа (горизонтальные σ_y). Нагружение производили ступенчато по 50 кН/м^2 до $p = 600 \text{ кН/м}^2$. Для каждой группы датчиков получены градуировочные характеристики [6]. Построены графики нарастания контактных напряжений при погружении (рис. 2). Представлены осредненные значения компонент напряжений (основанием для осреднения явились условия плоской деформации грунтового основания и симметричность загрузки фундамента). Получено по 12 значений для каждого компонента напряжений.

Распределение напряжений по подошве фундамента зависит от степени приближения

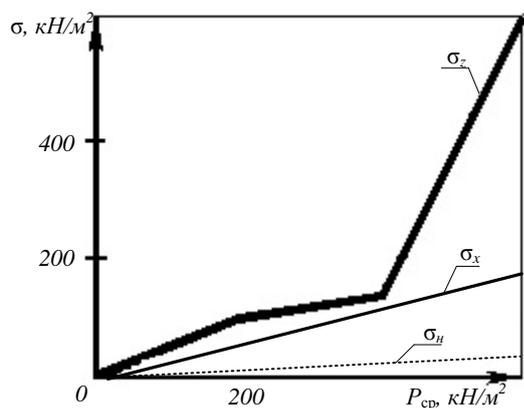


Рис. 2. Графики напряжений σ_z , σ_x , σ_H

напряженного состояния к предельному. В глинистых грунтах развитие зон сдвигов по краям фундамента происходит позже и медленнее, чем в несвязных (песчаных) грунтах. При большом диапазоне изменения нагрузок наблюдается сравнительно интенсивный рост напряжений в этих же зонах. В проведенных опытах крайние датчики располагали на расстоянии $0,5 b_{ст}$ от края штампа.

Вопрос об экспериментальном определении напряжений непосредственно под краем стен фундамента остается открытым. Можно полагать, что максимум напряжений на начальных ступенях нагружения до первой критической нагрузки приходится на край фундамента. Точно измерить напряжения при малых размерах ширины стенки непосредственно под кра-

ем фундамента на данном этапе исследований затруднительно.

По результатам проведенного эксперимента построены эпюры напряжений под подошвой фундамента (рис. 3). Следует отметить, что характер распределения измеренных напряжений по ширине подошвы фундамента равномернее на начальных стадиях нагружения. По мере увеличения внешней нагрузки напряжения увеличиваются (возрастают крайевые ординаты). Это говорит о слабом перераспределении напряжений под подошвой щелевидного фундамента в процессе роста нагрузки на него.

В настоящей работе для исследований напряженно-деформированного состояния грунтового массива при проведении расчетов использовано численное моделирование, реализованное в современном комплексе геотехнических программ «PLAXIS» [1]. Расчеты выполнены совместно с ООО «Фундамент» г. Новосибирска.

Программа «PLAXIS» располагает опцией оперативного математического моделирования стандартных лабораторных испытаний грунтов с использованием имеющихся расчетных моделей (опция «soil test»). В этом программном комплексе реализуется метод конечных элементов для непрерывной упругопластической среды. Возможно проследить изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) основания при поэтапном нагружении. Программа хорошо апробирована [2] и имеет соответствующий сертификат Росстандарта.

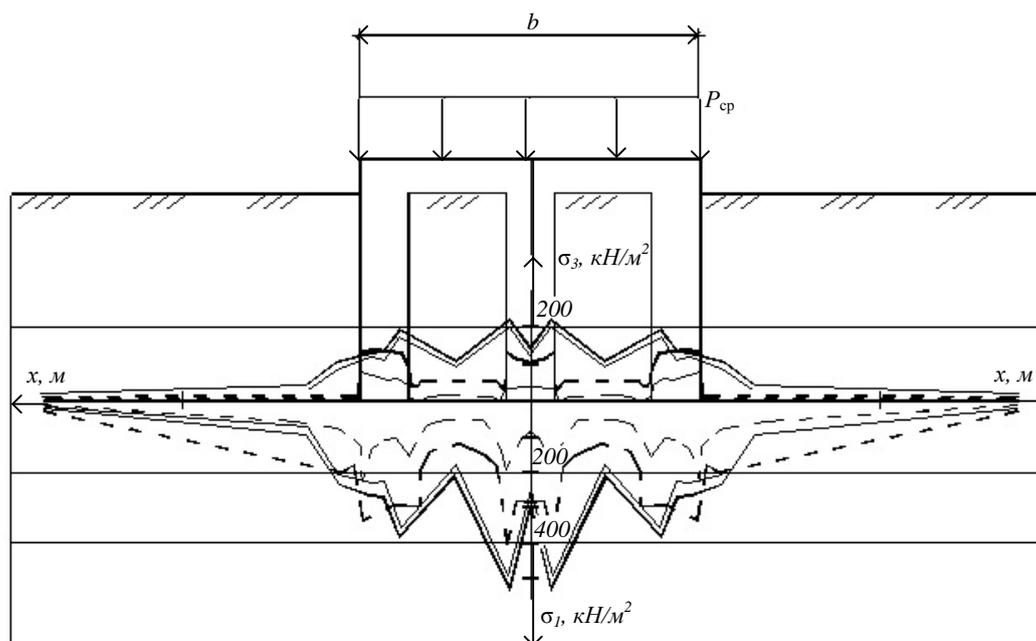


Рис. 3. Распределение напряжений σ_1 и σ_3 на глубине $z = z/b = 0$ при заглублении фундаментов $h = 0,6$ м:
 - - - - - модель Кулона-Мора, ——— и ——— — экспериментальные данные (малая и большая нагрузка)

Выбор расчетной модели грунта и определение ее параметров возможны на основе сопоставления результатов лабораторных испытаний и их виртуальных компьютерных аналогов [7]. В настоящей работе сопоставлены результаты расчета и полунатурных испытаний.

Для выполнения численных расчетов были выбраны две расчетные модели: упруго идеальнупластическая модель Кулона-Мора и линейная упругая модель. Эти модели включены в программный комплекс «PLAXIS», и, соответственно, можно провести сравнительный анализ и оценить влияние моделей и их расчетных параметров на прогнозируемое развитие напряженно-деформированного состояния грунта.

В результате проведенного моделирования определены возможные перемещения трехщелевого фундамента (рис. 4). По расчету максимальная осадка не превышает 20 см.

Результаты расчета грунтового массива, полученные по нелинейной упругопластической модели Кулона-Мора с учетом величины осадки в уплотненных глинистых грунтах нарушенной структуры, имеют большие расхождения с экспериментальными данными [4].

Экспериментальные значения напряжений (рис. 3) хорошо согласуются с теоретическими, полученными при использовании модели Кулона-Мора. Проведенный анализ результатов поэтапного моделирования позволил выявить, что для щелевидных фундаментов возможны значительные сжимающие и растягивающие напряжения в грунте у края стенок фундамента. Характер распределения напряжений в зависимости от расположения точек различен: при приближении к краевым участкам стенок фундамента при больших нагрузках появляется существенное увеличение вертикальных напряжений σ_z , что соответствует появлению линий сдвигов в краевых участках стенок фундамента. В центральной части загружаемого участка напряжения уменьшаются.

Использование модели Кулона-Мора обеспечивает надежную оценку статической работы фундамента. Проведенные расчеты с использованием современного комплекса геотехнических программ «PLAXIS» и исследования напряженно-деформированного состояния несущей системы для щелевидных фундаментов позволили получить представление о статической работе и несущей способности этих фундаментов, дать ряд рекомендаций.

Оценку НДС грунтового основания осуществляли с помощью тензометрических датчиков [6], опрашиваемых в разное время в за-

висимости от интенсивности изменения показателя

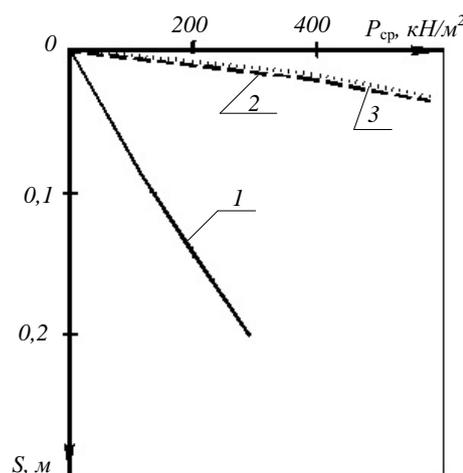


Рис. 4. Графики осадок для фундаментов (при заглублении $h_f = 0,6$ м):

1 – опытные данные; 2 – модель Кулона-Мора;
3 – линейная упругая модель

ний. По специально разработанной в СибГИУ программе «Тензо» выполняли обработку и анализ измерений. Полученные в процессе мониторинга значения деформации и усилий сравнивали с расчетными значениями.

Таким образом, с использованием программного комплекса «PLAXIS» сопоставлены экспериментальные данные и результаты численного моделирования. Это, в свою очередь, дает возможность выбора соответствующих оптимальных решений, например, при строительстве в стесненных условиях с близко расположенными зданиями и инженерными коммуникациями. При необходимости по деформациям могут быть определены усилия и напряжения в фундаменте (последние сравниваются с нормативными прочностными показателями материала) [8 – 10].

Выводы. Модель Кулона-Мора можно рекомендовать для оценки предельного напряженного состояния и возможного механизма ее разрушения, а также для предварительных деформационных расчетов в целях экономии времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Платонова С.В. Анализ напряженно-деформированного состояния с использованием программного комплекса «PLAXIS». – В кн.: Инновационное будущее технических наук: сборник статей Международной научно-практической

- конференции, 20 января 2015 г. – Уфа: Аэтерна, 2015. С. 12 – 15.
2. Кожевникова С.В., Криворотов А.П. Напряженно-деформированное состояние упруго-пластического основания ленточных щелевидных фундаментов. – Новокузнецк: изд. Сибирского гос. индустр. ун-та, 2002. – 213 с.
 3. Платонова С.В. Особенности напряженно-деформированного состояния ленточного трехщелевого фундамента. – В кн.: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции НГАСУ. – Новосибирск: изд. Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2010. С. 30 – 34.
 4. Платонова С.В. Экспериментальное исследование напряженного состояния грунтового основания под подошвой ленточных щелевидных фундаментов. – В кн.: Инновационное будущее технических наук: сборник статей Международной научно-практической конференции. 20 января 2015 г. – Уфа: Аэтерна, 2015. С. 15 – 19.
 5. Криворотов А.П. О методике измерения давлений в грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1971. № 1. С. 6, 7.
 6. Платонова С.В. Тензометрическое устройство для измерения напряжений в грунтовой толще. – В сб.: Теория и практика современной науки: Материалы XVI Международной научно-практической конференции. – М.: 2014. С. 100 – 105.
 7. Платонова С.В. Исследование влияния заглубления щелевого фундамента на его осадки и напряженное состояние грунтового основания // Инновации и инвестиции. 2014. № 12. С. 187 – 191.
 8. Платонова С.В., Криворотов А.П. Расчет прочности щелевидного фундамента // Изв. вуз. Строительство. 1995. № 4. С. 23 – 29.
 9. Платонова С.В. Анализ напряженно-деформированного состояния ленточных щелевидных фундаментов с использованием программы «Геомеханика». – Уфа: РИЦ Аэтерна, 2015. – 176 с.
 10. Платонова С.В. Исследование характера напряженно-деформированного состояния грунтового основания под подошвой ленточных щелевидных фундаментов // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. № 2. С. 14 – 22.

© 2015 г. С.В. Платонова
Поступила 24 февраля 2015 г.