

Л.В. Янковский

Пермский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОСНОВАНИЕ–ГЕОИМПЛАНТАТ–ФУНДАМЕНТ

Предложена модель системы основание–геоимплантат–фундамент для решения задач закрепления оснований сооружений. Рассмотрена геоимплантатная конструкция для усиления ленточных фундаментов. Описан композитный метод представления слоя геоимплантата при конечно-элементном решении и приведены результаты численных экспериментов.

Ключевые слова: *закрепление основания, фундамент, геоимплантат, НДС.*

При новом строительстве и при реконструкции технологических сооружений часто возникает необходимость закрепления оснований. Применяются различные способы усиления оснований фундаментов и сооружений, но они, как правило, не отвечают новым повышенным требованиям к охране окружающей среды и использованию ресурсосберегающих технологий. Недостатками всех методов являются технологическая сложность, большая стоимость специального оборудования, наличие трудоемких ручных работ внутри сооружения, ограничения применения по грунтовым условиям, а главное – загрязнение окружающей среды специальными химическими вяжущими материалами. Существенное ограничение всех способов – невозможность закрепления основания фундаментов, находящихся внутри протяженного технологического сооружения, без разрушения конструкций первого этажа или цоколя, а также крайняя затрудненность работ в подвальных помещениях.

Особый интерес привлекают новые не традиционные системы закрепления основания, например, на основе совершенствования конструирования, расчета и монтажа геоимплантатных конструкций.

Для решения проблемы закрепления оснований фундаментов зданий и подобных технологических сооружений нами предлагается создавать под подошвой геоимплантатную конструкцию, состоящую из

горизонтальных и параллельных друг другу геоимплантатов (армоэлементов) с зоной уплотнения вокруг них, которая возникает в процессе изготовления геоимплантатов [1]. Для того чтобы провести расчеты данных сооружений, необходимо построить расчетную схему конструкции и общую модель геосреды основания.

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) начинается с этапа выбора модели явления, т.е. выделения в явлении тех сторон, которые должны быть учтены в первую очередь, с тем, чтобы полученные в результате исследования выводы соответствовали реальности. Вводя гипотезу сплошности, реальный объект заменяют его моделью сплошной среды. Замена реального объекта другим, сохраняющим лишь основные, определяющие черты явления, называется построением расчетной схемы. Построение расчетной схемы расчленяется на ряд этапов. К первому этапу следует отнести построение модели среды, ко второму – построение модели элемента конструкции или модели всего устройства.

При построении расчетной схемы конструкции ее заменяют упрощенной моделью, сохраняющей при этом все основные, наиболее характерные качества оригинала. Реальные тела обладают такими механическими свойствами, которые в пределах даже малого объема при переходе от точки к точке изменяются. В механике твердого тела вводится понятие однородности структуры, которое состоит в том, что в малой окрестности любой точки тела строение однородно и не зависит от размеров малого объема, включающего в себя эту точку. Тело будет механически однородным, если его механические свойства не зависят от координат выбора точки тела. Тела называются изотропными в точке, если механические свойства не зависят от выбора направления, исходящего из этой точки. Если механические свойства зависят от направления, то тела называются анизотропными, а в частном случае – ортотропными, если в точке есть взаимно ортогональные плоскости, относительно которых механические свойства симметричны.

В нашем случае мы должны рассмотреть НДС основания фундамента, закрепленного геоимплантатной конструкцией – системой горизонтальных параллельных друг другу армирующих элементов (геоимплантатов), образующих в совокупности усиленный слой грунта в основании фундамента.

В практике строительства и эксплуатации зданий наиболее часто встречаются ленточные фундаменты. Обычно именно такие фундаменты требуют проведения мероприятий по усилению и закреплению основа-

ний при реконструкции и в других случаях. Поэтому для теоретического исследования выбираем ленточный фундамент. В данном случае будут выполняться условия плоской задачи: напряжения распределяются в одной плоскости, а в перпендикулярном направлении они будут или равны нулю, или постоянны. Это характерно для плоской деформации. Для ленточных фундаментов в любом месте, за исключением лишь краевых участков (от края по длине примерно 2–3 ширины сооружения), распределение напряжений в любом проведенном сечении будет таким же, как и в других соседних, при условии, что в направлении, перпендикулярном рассматриваемой плоскости, нагрузка не меняется.

Во всех представляющих реальный интерес задачах механики грунтов и горных пород имеют место смешанные деформации двух типов: упругие и пластические. При малой величине пластических зон ими пренебрегают и задачу рассматривают как упругую. При существенном развитии пластических деформаций их необходимо учитывать и решать смешанную задачу.

Если рассматривать физико-механические свойства грунтов оснований, требующих закрепления при реконструкции фундаментов, то показатель текучести I_L для таких грунтов находится обычно в пределах от 0,5 до 0,75, а модуль деформации E – от 5 до 10 МПа. Таким образом, для данных грунтов, с учетом причин, вызывающих реконструкцию и усиление фундаментов, существенное влияние оказывают пластические деформации, и поэтому в данном случае необходимо решать упругопластическую задачу, как наиболее полно раскрывающую работу основания под нагрузкой.

Теперь рассмотрим модель всего устройства усиления. В нашем случае это горизонтальные параллельные друг другу армирующие элементы с зоной уплотнения вокруг них, образующие под подошвой фундамента геоплантантную конструкцию – единый усиленный слой грунта (рис. 1).

В условиях плоской задачи этот слой можно рассматривать как слоистую плиту с усредненными прочностными характеристиками по оси Z (рис. 2). В реальном объекте по оси Z наблюдается анизотропия свойств усиленного слоя. Для того чтобы это учесть, необходимо решать пространственную задачу. Однако, учитывая то, что свойства усиленного слоя по оси Z изменяются однообразно и периодически, принимаем допущение, что усиленный слой заменяется слоистой плитой с усредненными прочностными характеристиками по оси Z , и решаем плоскую задачу в упругопластической постановке в условиях плоской деформации.

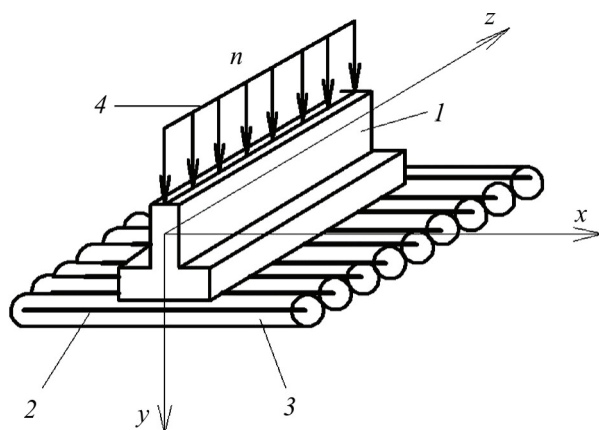


Рис. 1. Реальная схема закрепления основания фундамента геоимплантатной конструкцией: 1 – ленточный фундамент; 2 – геоимплантат; 3 – зона уплотнения грунта вокруг армозлемента; 4 – распределенная нагрузка на фундамент

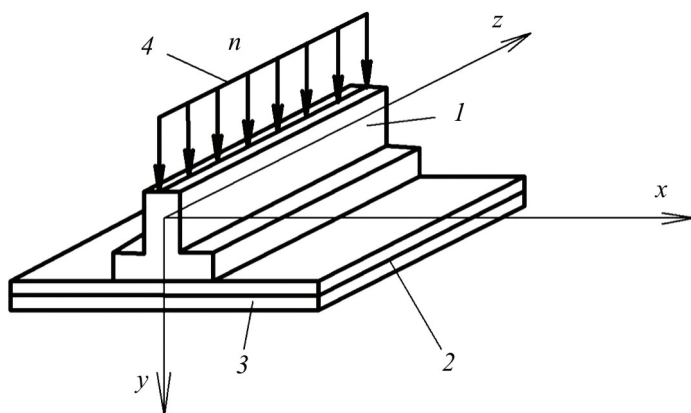


Рис. 2. Расчетная схема: 1 – ленточный фундамент; 2 – слой геоимплантатов; 3 – слой зоны уплотнения грунта; 4 – распределенная нагрузка на фундамент

Реальное устройство слоя усиления представляет собой горизонтальные, параллельные друг другу армирующие элементы с зоной уплотнения, находящиеся на одном уровне под подошвой фундамента. Для некоторых схем усиления наблюдается кривизна всего слоя выпуклостью вверх или вниз. Концы элементов замоноличиваются связывающей их плитой. Возможно армирование элемента. Все эти варианты ведут к усилению конструкции. Поэтому есть смысл рассмотреть базовый вариант усиления (см. рис. 1), полагая, что все остальные будут с коэффициентом запаса прочности. В условиях плоской задачи усиленный слой

грунта, состоящий из армирующих элементов, предлагается рассматривать как сплошную слоистую плиту с усредненными по слоям прочностными характеристиками (см. рис. 2).

Свойства уплотненной зоны грунта вокруг пробитой скважины плавно меняются от края до конца зоны влияния. Поэтому для описания свойств зоны уплотнения и усиленного слоя с помощью МКЭ применим композитный способ решения армированного грунта, так как для дискретного описания необходимо большое количество конечных элементов [2].

Используя графики зависимости удельного веса грунта по мере удаления от края поверхности геотекстурного элемента, можно описать свойства грунта вокруг армирующего элемента. Для этого уплотненную зону разбивают на три зоны (I, II, III). Внутри каждой зоны определяют средний удельный вес уплотненного грунта (рис. 3).

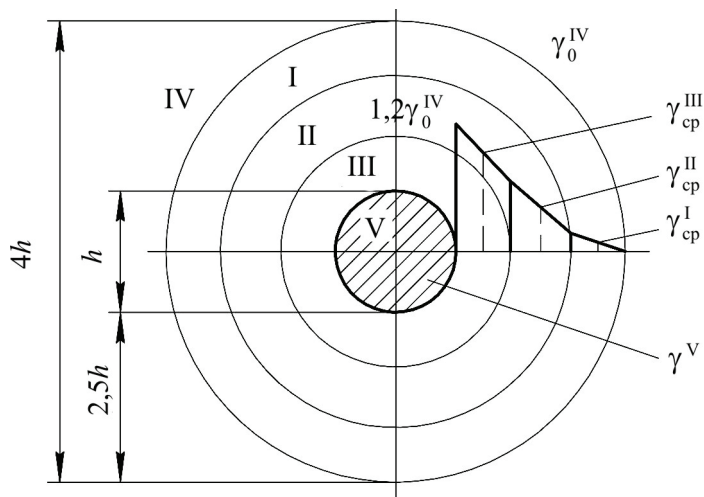


Рис. 3. Модель зоны уплотнения вокруг геотекстурного элемента:

$\gamma_{ср}^I, \gamma_{ср}^{II}, \gamma_{ср}^{III}$ – средний удельный вес грунта для I, II и III уплотненной зоны; $\gamma_{ср}^{IV}$ – удельный вес грунта ненарушенной структуры IV зоны; $\gamma_{ср}^{IV}$ – удельный вес материала геотекстурного элемента V зоны

Зная распределение по зонам удельного веса грунта, определяем другие характеристики грунта. Для диапазона грунтов, представленных аллювиальными, делювиальными, озерными и озерно-аллювиальными суглинками с числом пластичности $0,5 \leq I_L \leq 0,75$ и модулем деформации E от 5 до 10 МПа, определяем влажность ω грунта. Для этого по СНиП 2.02.01–83 находим пористость грунтов в зависимости от E :

$$E = [\gamma_c \cdot (1 - \omega) / \gamma] - 1,$$

где e – пористость грунта; γ_c – удельный вес скелета грунта; γ – удельный вес грунта; ω – влажность грунта в долях единицы.

По формуле находим влажность грунта ненарушенной структуры, зная пористость для определенного E и I_L . При прокладке скважины пневмопробойником влажность грунта вокруг него меняется. Зависимость влажности грунта от относительного расстояния до оси скважины приведена в работе [3]. Но со временем влажность грунта восстанавливается. Принимаем допущение, что влажность восстанавливается во всем объеме и равна влажности грунта ненарушенной структуры. Тогда в зависимости от γ , γ_c и влажности ω для каждой зоны уплотнения грунта вокруг скважины можно определить пористость e по предложенной формуле. Зная пористость e , определяем E , C и φ для каждой зоны. В расчетах значение коэффициента Пуассона ν для грунта принимаем равным 0,35, а число пластичности $I_L = 0,6$.

Реальная схема закрепления основания фундамента (см. рис. 1) заменена при построении модели усиленного слоя грунта на расчетную схему (см. рис. 2). Параллельные армирующие элементы заменены слоистой плитой с усредненными прочностными характеристиками. В конечно-элементном расчете усреднение осуществлялось по схеме, представленной на рис. 4.

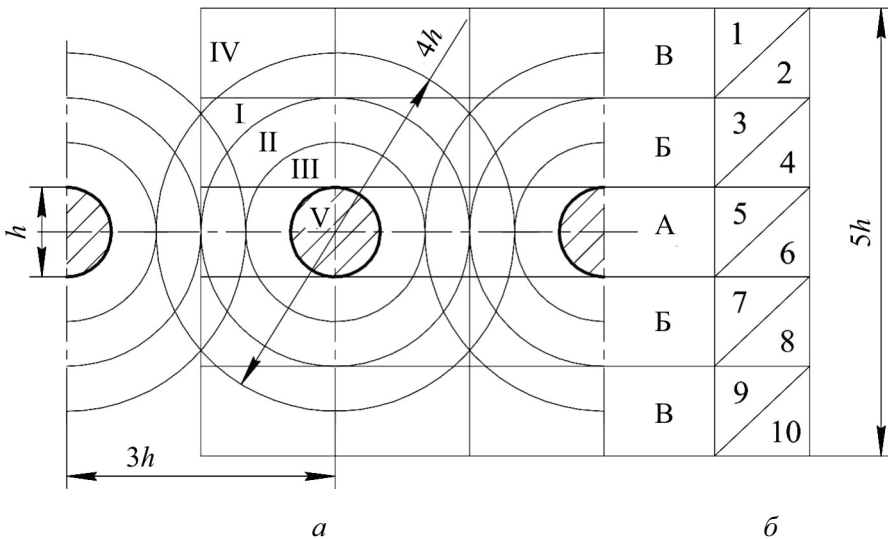


Рис. 4. Схема определения значений характеристик конечно-элементной сетки модели геоимплантатной конструкции (усиленного слоя грунта): a – сечение геоимплантатов; b – конечно-элементная сетка при расчете МКЭ

В реальной схеме усиления выбирается симметричный элемент и разбивается слоями А, Б, В, соответствующими разбивке на конечные элементы 1–10. Для каждого слоя А, Б, В определяются площади, занимаемые зонами уплотненного грунта I, II, III, IV и армирующего элемента V. В зависимости от занимаемой площади определяются средние прочностные характеристики данного слоя. Значения этих характеристик присваиваются при решении МКЭ конечным элементам 1–10. Таким образом, описываются свойства слоистой плиты в расчетной схеме (см. рис. 2).

Данная модель строилась для значений модуля деформации 5; 7,5; 10 МПа. При этом были сделаны следующие допущения:

1) закон распределения уплотнения грунта вокруг скважины остается для всех исследуемых грунтов постоянным;

2) влажность грунта вокруг скважины после проходки со временем выравнивается и становится равной влажности грунта ненарушенной структуры.

Для численного эксперимента диаметр армирующих элементов выбирался в общем виде, как доля от ширины фундамента. В нашем случае было рассмотрено 3 варианта: $0,075b$; $0,1b$; $0,125b$. Решение проводилось для случая $E = 5$ МПа, $E = 7,5$ МПа, $E = 10$ МПа. Нагружение выполнялось пятью ступенями нагрузки $p_1 = 0,05$ МПа, $p_2 = 0,1$ МПа, $p_3 = 0,15$ МПа, $p_4 = 0,2$ МПа, $p_5 = 0,25$ МПа.

Для примера на рис. 5 приведены изолинии одинаковых напряжений σ_y при $E = 7,5$ МПа и нагрузке $p_2 = 0,1$ МПа. Видно, что на одинаковой глубине от подошвы фундамента напряжения снижаются почти в 2 раза. Аналогичные изолинии были получены для всего диапазона нагрузок и напряжений σ_x , τ_{xy} .

Анализируя напряжения в основании без усиления во всех численных решениях и сравнивая их с напряжениями в основании с усилением, можно видеть, что их значения значительно снижаются. При этом напряжения под геоимплантатом нигде не превышают природную несущую способность грунта, тогда как основание без усиления в это время уже вышло за предельную область. Анализ перемещений тоже показал увеличение несущей способности оснований.

В целом основание с геоимплантатом (усиленным слоем грунта) работает больше упруго, чем пластически. Тем самым мы избавляемся в основном от пластических деформаций, что приводит к положительным результатам усиления.

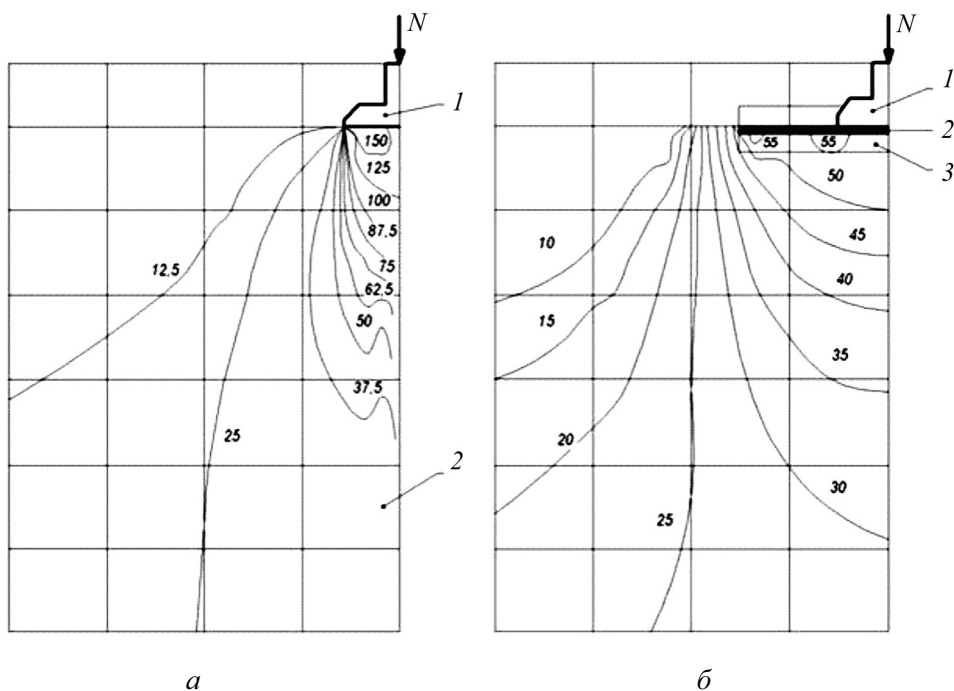


Рис. 5. Изолинии одинаковых напряжений σ_y при $E = 7,5$ МПа и нагрузке $p_2 = 0,1$ МПа: *a* – основание без усиления: 1 – фундамент, 2 – основание; *б* – основание, усиленное геоплантатной конструкцией: 1 – фундамент, 2 – геоплантат, 3 – зона уплотненного грунта вокруг геоплантата

Для подтверждения правильности использования данной модели были проведены натурные эксперименты. Для этого была разработана конечно-элементная сетка, описывающая параметры крупномасштабного эксперимента. Осадки фундамента, рассчитанные с помощью МКЭ и полученные в ходе крупномасштабного эксперимента, показали хорошую сходимость.

По результатам исследований разработан инженерный метод расчета оптимальных параметров геоплантатов для способа усиления оснований ленточных фундаментов при реконструкции.

Таким образом, можно констатировать, что композитная модель системы основание–геоплантат–фундамент, представляющая геоплантатную конструкцию как слоистую плиту с усредненными прочностными характеристиками, правильно описывает грунтовое основание с элементами усиления и может быть использована в инженерных расчетах оснований опасных и аварийных объектов.

Список литературы

1. Пат. 2032024 РФ, МКИ 6E02D27/08, 37/00. Способ усиления основания ленточных фундаментов при реконструкции зданий и сооружений / А.А. Бартоломей, Л.В. Янковский. – Заявл. 17.07.92, опубл. 27.03.95, Бюл. № 9.
2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
3. Янковский Л.В. Разработка метода закрепления оснований ленточных фундаментов при реконструкции: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 1991. – 178 с.

Получено 18.03.2011