

О.М. Романов, к.т.н., с.н.с., Н.Ю. Анкянец, инженер

Государственное предприятие Научно-исследовательский институт строительных конструкций (НДБК), г. Киев

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РОСТВЕРКА, СВАЙ И ОСНОВАНИЯ

В статье обосновывается «полезность» учета совместной работы ростверка и свайного основания при комплексном расчете системы «основание – фундаменты – верхнее строение». Такой подход возможен, если под подошвой ростверка залегают достаточно «хорошие» грунты. Приводится сравнение результатов расчета многоэтажного здания с учетом работы ростверка с основанием и без него.

Ключевые слова: *ростверк, сваи, основание, условные фундаменты, несущая способность свай, расчетные усилия.*

Постановка проблемы в общем виде, ее связь с важнейшими практическими задачами. В сложившейся демографической обстановке (в основном это касается больших городов, где плотность застройки очень велика) возникает необходимость использовать строительные площадки, находящиеся в непосредственной близости от существующих зданий [1, 2].

«Стесненные» условия строительства, что особенно характерно для зданий повышенной этажности и высотных строений, для которых используются свайные фундаменты, создают определенные трудности для проектирования в сложных инженерно-геологических условиях [3].

Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решению данной проблемы. Исследованиями взаимодействия ростверка, свай и основания занимаются научные школы профессоров А.А. Бартоломея, И.П. Бойка, А.Л. Готмана, Н.Л. Зоценка, Р.А. Мангушева, В.М. Улицкого, R. Katzenbach и др. [4-10]. В частности, экспериментально-теоретическим путем изучены вопросы включения в работу свайного фундамента ростверка, его часть в общей несущей способности этого фундамента в зависимости от грунтовых напластований под ростверком и под острием свай, особенности работы каждой сваи в зависимости от ее положения в кусте (группе) или свайном поле и т. д.

Выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья. При комплексном расчете системы «основание – фундаменты – верхнее строение» иногда нагрузка на некоторые сваи превышает их несущую способность. Поэтому для таких случаев с целью уменьшения нагрузки, полученной в результате расчетов, на сваи целесообразно так же учитывать закономерности взаимодействия ростверка с основанием (в зависимости от характеристик несущего и подстилающих слоев).

Цель работы – на практическом примере высотного здания со свайными фундаментами проанализировать возможность и корректность учета совместной работы ростверка и свайного основания при комплексном расчете системы «основание – фундаменты – строение».

Изложение основного материала исследования. В качестве примера приведены результаты расчета административно – гостиничного комплекса по ул. Гончара, 69 в Шевченковском районе г. Киева.

Конструктивная схема здания.

Комплекс представляет собой многоэтажное здание из трех секций, неразделенных деформационными швами. Здание имеет сложную конфигурацию как в плане, так

и по высоте с размерами в плане 21.90×46.10 м. Девятнадцатизэтажная часть здания имеет высоту 66.3 м, а 9-ти этажная – высоту 33.3 м; 4-х этажная 16.7 м.

Фундамент – свайный, по которому устраивается плитный монолитный железобетонный ростверк толщиной 0.8 м. В первоначальном проекте были предусмотрены буронабивные сваи диаметром 0.82 м, длиной 22 м. Частично свайное поле было выполнено. Из-за нарушений технологии производства работ по устройству свайного поля, которая привела к деформациям соседних домов. Поэтому от буронабивных свай пришлось отказаться. Оставшуюся часть свайного поля было предложено выполнить из свай сечением 350×350 мм, длиной 18 м.

Расчетная нагрузка на выполненные буронабивные сваи по данным их испытаний составила 250 тс, а на вдавливаемые призматические сваи сечением 350×350 мм по инженерно-геологическим изысканиям – 127 тс.

Конструктивная схема здания запроектирована в каркасно-монолитном варианте с безбалочными перекрытиями на свайно-плитном фундаменте. Пространственная жесткость здания обеспечивается за счет колонн, пилонов, диафрагм жесткости и двух ядер жесткости (лестнично-лифтовые блоки). Перекрытия и покрытия – монолитные железобетонные, плоские. Стены лифтовых блоков и диафрагм жесткости – монолитные, железобетонные.

Инженерно-геологические условия площадки.

По данным инженерно-геологических изысканий было выделено 5 инженерно-геологических элементов (ИГЭ), залегающих ниже подошвы ростверка. Характер напластования слоев относительно равномерный.

ИГЭ-1 – супесь пылеватая, с прослоями и линзами песка пылеватого, в основном текучая, местами пластичная. Залегает по всей площадке мощностью 16.5-17 м. Основные физико-механические характеристики слоя: число пластичности $I_p = 4$; показатель текучести $I_L > 1$; коэффициент пористости $e = 0.69$; общий модуль деформации $E = 11$ МПа; удельный вес $\gamma_I = 19.33$ кН/м³, $\gamma_{II} = 19.52$ кН/м³; удельное сцепление грунта $c_I = 14$ кПа, $c_{II} = 17$ кПа; угол внутреннего трения $\phi_I = 19$ град., $\phi_{II} = 22$ град.

ИГЭ-2 – глина легкая, пылеватая, полутвердая мощностью до 1 м; Основные физико-механические характеристики грунта этого слоя: число пластичности $I_p = 27$; показатель текучести $I_L = 0.07$; коэффициент пористости $e = 0.72$; общий модуль деформации $E = 18$ МПа; удельный вес $\gamma_I = 19.43$ кН/м³, $\gamma_{II} = 19.62$ кН/м³; удельное сцепление грунта $c_I = 37$ кПа, $c_{II} = 36$ кПа; угол внутреннего трения $\phi_I = 19$ град., $\phi_{II} = 17$ град.

ИГЭ-3 – суглинок текучепластичный, насыщенный водой, мощностью 2.0 м; Основные физико-механические характеристики слоя: число пластичности $I_p = 11$; показатель текучести $I_L = 0.91$; коэффициент пористости $e = 0.63$; общий модуль деформации $E = 9$ МПа; удельный вес $\gamma_I = 19.81$ кН/м³, $\gamma_{II} = 20.01$ кН/м³; удельное сцепление грунта $c_I = 27$ кПа, $c_{II} = 29$ кПа; угол внутреннего трения $\phi_I = 17$ град., $\phi_{II} = 19$ град.

ИГЭ-4 – песок средней крупности с включениями гравия до 10%, плотный, насыщенный водой мощностью 2.0 м Основные физико-механические характеристики слоя: коэффициент пористости $e = 0.565$; общий модуль деформации $E = 36$ МПа; удельный вес $\gamma_I = 20.01$ кН/м³, $\gamma_{II} = 20.21$ кН/м³; удельное сцепление грунта $c_I = 1$ кПа, $c_{II} = 2$ кПа; угол внутреннего трения $\phi_I = 33$ град., $\phi_{II} = 36$ град.

ИГЭ-5 – суглинок полутвердый. Максимально пройденная мощность слоя 5.3 м. Основные физико-механические характеристики слоя: число пластичности $I_p = 11$; показатель текучести $I_L = 0.18$; коэффициент пористости $e = 0.79$; общий модуль деформации $E = 20$ МПа; удельный вес $\gamma_I = 18.94$ кН/м³, $\gamma_{II} = 19.13$ кН/м³; удельное сцепление грунта $c_I = 22$ кПа, $c_{II} = 24$ кПа; угол внутреннего трения $\varphi_I = 17$ град., $\varphi_{II} = 20$ град.

Несущим слоем для ростверка служит ИГЭ-1, а для свай – ИГЭ-5.

Расчет.

Расчет был выполнен с применением метода конечных элементов с помощью программного комплекса (ПК) «ЛИРА – WINDOWS» [11] (разработчик НИИАСС) и программы «ПРОЛОГ» (ГП НИИСК), позволяющих учитывать совместную работу основания, фундаментов и вышележащих конструкций здания.

Методика расчета основания.

Расчетная схема основания была разработана для определения вертикальных коэффициентов жесткости основания, которые впоследствии использовались для определения напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундаменты – верхнее строение».

Схема условных фундаментов составлена для вычислений по программе «ПРОЛОГ», в которой реализована расчетная модель линейно - деформированного полупространства [1] и учитывается взаимное влияние фундаментов. Значения ширины и длины условных свайных фундаментов определялись согласно [3].

Расчетная схема основания представляла собой систему условных прямоугольных фундаментов. Нагрузка – равномерно распределенная по площади условных фундаментов. В программе «ПРОЛОГ» напряжения в грунтовой толще вычислялись от уровня заложения подошвы условных фундаментов. Сжимаемая толща основания ограничивается той глубиной, где дополнительные напряжения составляют величину, равную 20% от природных напряжений. В расчете деформаций основания фундаментов здания использованы нормативные нагрузки.

Напряжения под подошвой фундаментов определялись с помощью ПК «ЛИРА - WINDOWS», разработанного НИИАСС и ориентированного на расчет строительных конструкций.

Так как расчет являлся итерационным, то напряжения под фундаментами, вычисленными по ПК «ЛИРА - WINDOWS», служили исходными данными для определения значений коэффициентов жесткости основания в программе «ПРОЛОГ», где реализован метод линейно-деформированного полупространства. В программе, также учитывается взаимное влияние условных фундаментов. Полученные значения коэффициентов жесткости основания использовались в ПК «ЛИРА - WINDOWS» при следующем шаге расчета. Итерационный процесс заканчивался при достижении в последнем и предшествующем расчете критерия сходимости, который в расчетах был принят менее 5%. Для определения напряжений в конструкциях и фундаментах здания на последнем этапе расчета использованы расчетные величины нагрузок.

Расчетная схема здания.

Конструктивные элементы здания – плита ростверка, стены, перекрытия и пилоны моделировались универсальными четырехугольными конечными элементами оболочки нулевой гауссовой кривизны, колонны и сваи рамными стержнями общего вида.

При моделировании коэффициентов жесткости основания в элементах свай, как в горизонтальном направлении, так и под пятой были использованы связи конечной жесткости. Жесткостные характеристики конечных элементов определялись согласно [12].

Расчетные схемы здания и ростверка приведены на рис. 1 и 2.

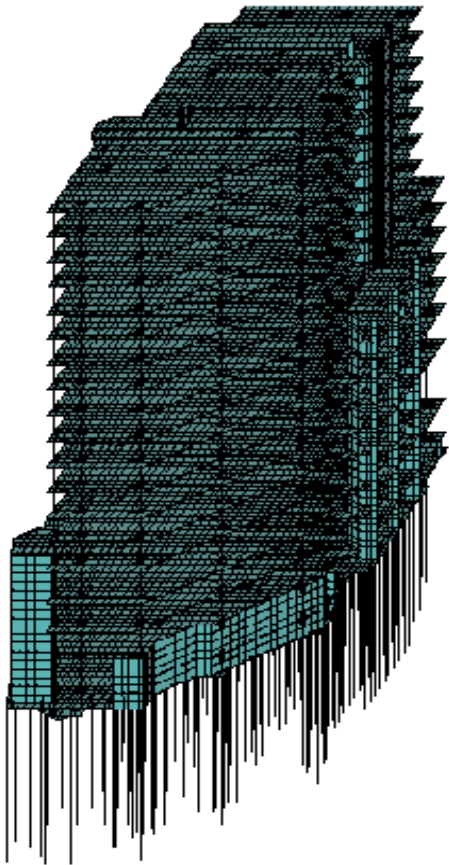


Рисунок 1 – Расчетная схема здания

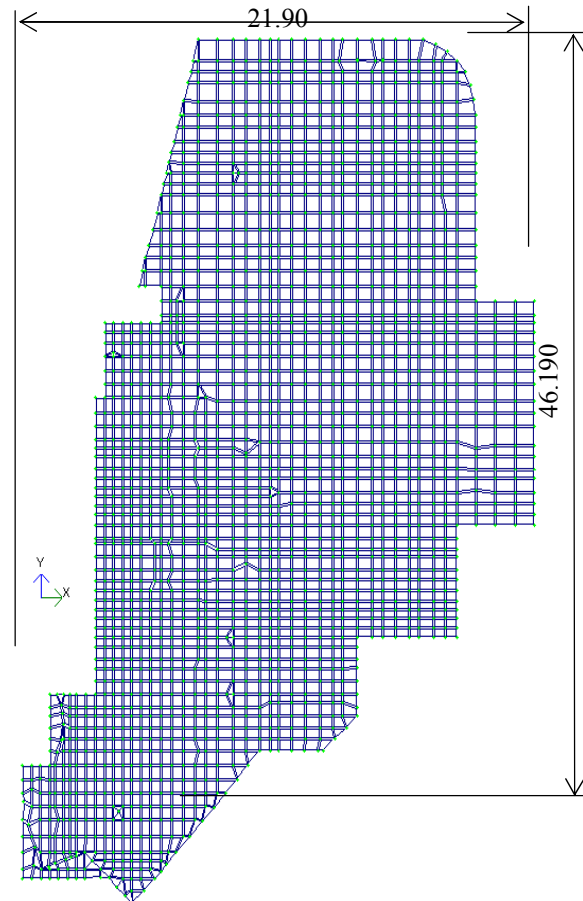


Рисунок 2 – Расчетная схема ростверка

Результаты расчетов.

Выполнено два вида расчетов. В первом расчете не учитывалась совместная работа ростверка с основанием. Этот расчет показал, что усилия под пятой отдельных свай превышали их несущую способность. Во втором – учитывалось взаимодействие ростверка и свай с основанием.

В результате первого расчета (без учета взаимодействия ростверка с основанием) значение максимальной нагрузки на буронабивные сваи составило $P^b = 271.3$ тс, на вдавливаемые сваи $P^b = 144.8$ тс.

В результате второго расчета (с учетом взаимодействия ростверка с основанием) значение максимальной нагрузки на буронабивные сваи составила $P^b = 229.1$ тс, на вдавливаемые сваи $P^b = 113.0$ тс.

Максимальное расчетное усилие, полученное в результате первого расчета относительно результатов второго расчета для буронабивных свай меньше на 15%, для вдавливаемых свай на 22%. Графическая интерпретация результатов расчетов приведена на рис. 3-6.

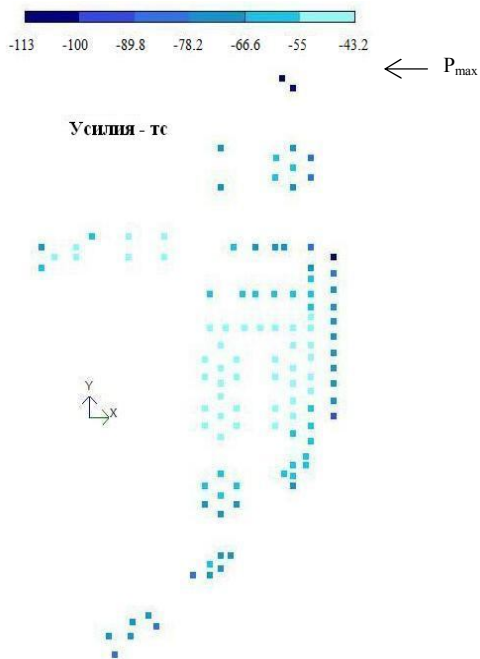


Рисунок 3 – Значения расчетных усилий под пятой вдавливаемых свай с учетом «работы» ростверка
 P_{max} – максимальное усилие в сваях

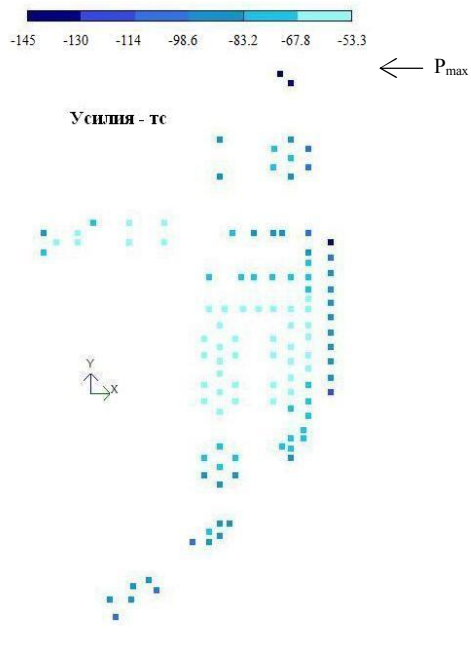


Рисунок 4 – Значения расчетных усилий под пятой вдавливаемых свай без учета «работы» ростверка
 P_{max} – максимальное усилие в сваях

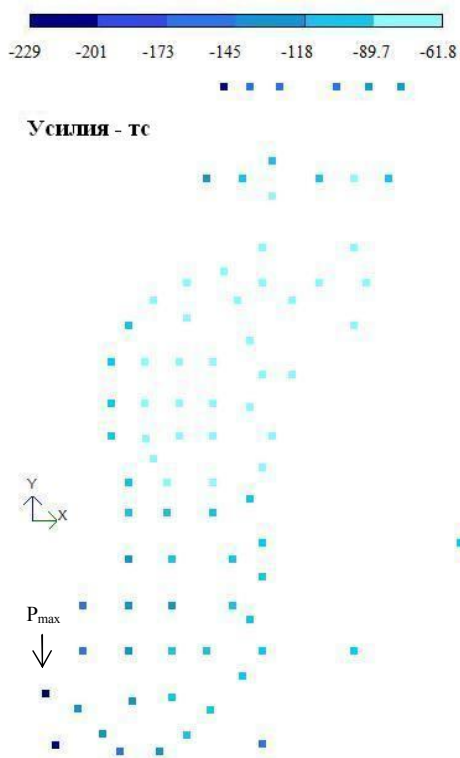


Рисунок 5 – Значения расчетных усилий под пятой буронабивных свай с учетом «работы» ростверка
 P_{max} – максимальное усилие в сваях

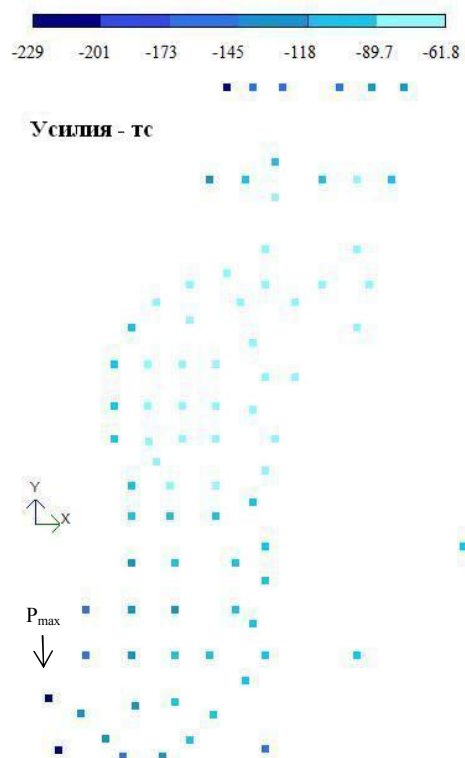


Рисунок 6 – Значения расчетных усилий под пятой буронабивных свай без учета «работы» ростверка
 P_{max} – максимальное усилие в сваях

Выводы. 1. При сегодняшнем уровне проектирования в подавляющем большинстве случаев при расчете многоэтажных и высотных зданий не учитывается взаимодействие плитного ростверка с основанием, а учитывается «чистая» работа свай.

2. Учитывать взаимодействие плитного ростверка с основанием можно лишь только в тех случаях, когда под подошвой ростверка залегают достаточно «хорошие» (плотные) грунты. Включение в работу ростверка обуславливается тем обстоятельством, запроектировано недостаточное количество свай или нагрузка на некоторые сваи превышает расчетную.

3. При комплексном расчете системы «основание – фундаменты – верхнее строение», как правило, наибольшие расчетные усилия в сваях возникают по контуру фундамента, это связано с положениями метода упругого полупространства.

4. Полученные результаты указывают на то, что для принятых, но достаточно характерных, инженерно-геологических условий включение в «работу» ростверка уменьшает фактическую нагрузку на сваи на 15-20%.

Литература

1. ДБН В. 2.1-10-2009. *Основи та фундаменти споруд.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 107 с.
2. ДБН В.1.2-12-2008. *Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки* – К.: Мінрегіонбуд України. – 2008. – 34 с.
3. ДБН В. 2.1-10-2009. *Основи та фундаменти споруд.* – К.: Мінрегіонбуд України. Зміна. №1, 2011. – 55 с.
4. Бартоломей, А.А. *Прогноз осадок свайных фундаментов* / А.А. Бартоломей, И.М. Омельчак, Б.С. Юшков. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
5. Бойко І.П. *Особенности взаимодействия пильових фундаментів під висотними будинками з їх основою* / І.П. Бойко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-техн. зб.* – Вип. 30. – К.: КНУБА. – 2006. – С. 3-8.
6. Готман А.Л. *Свайные фундаменты* / А.Л. Готман // *Российская геотехника – шаг в XXI век: тр. конф. к 50-летию РОМГГФ.* – М.: НИИОСП, 2007. – Т. I. – С. 37–52.
7. *Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник* / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
8. Мангушев, Р.А. *Геотехника Санкт-Петербурга: Монография* / Р.А. Мангушев, А.И. Осокин. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 264 с.
9. Улицкий, В.М. *Геотехническое сопровождение развития городов* / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Стройиздат Северо-Запад; «Геореконструкция», 2010. – 552 с.
10. Katzenbach, R. *Soil-structure interaction of deep foundations and the ULS design philosophy* / R. Katzenbach, G. Bachmann, C. Gutberlet // *Geotechnical Engineering in Urban Environments: proc of the 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007).* – Millpress Science Publishers Rotterdam, 2007. – P. 55–60.
11. ЛИРА. *Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций.* – Учебное пособие. К-М.: 2001. - 312 с.
12. ДБН В.2.6-98:2009. *Бетонні та залізобетонні конструкції.* – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011 – 71 с.

Надійшла до редакції 23.10.12

© О.М. Романов, Н.Ю. Анкянець

О.М. Романов, к.т.н., с.н.с., Н.Ю. Анкянец, інженер

ДП „Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій ”, м. Київ

ВЗАЄМОДІЯ РОСТВЕРКУ, ПАЛЬ ТА ОСНОВИ

У статті обґрунтовується «корисність» обліку спільної роботи ростверку й пальової основи при комплексному розрахунку системи «основа – фундаменти – верхня споруда». Такий підхід можливий, якщо під подошвою ростверку залягають досить «хороші» ґрунти. Приводиться порівняння результатів розрахунку багатопверхового будинку з урахуванням роботи ростверку з основою й без нього.

***Ключові слова:** ростверк, палі, основа, умовні фундаменти, несуча здатність палі, розрахункові зусилля*

O.M. Romanov, Ph.D., Head of the Laboratory, N.Y. Ankyneth, engineer

The State Research Institute of Building Constructions (NIISK), Kiev

INTERACTION OF THE GRATING, PILES AND BASE

The article is based on «the usefulness» of the calculation of the joint operation of grating and pile base in the complex calculation of system “base – foundations – upper structure”. This approach is possible, if under the sole of grating lie sufficiently “good” soils. The comparison of the results of calculation of the multistory building is given, with taking into account the work of grating with the base and without it.

***Key words:** grating, pile, base, conditional foundations, the carrier ability of piles, calculated efforts.*