

## **ВЫСОТНЫМ ЗДАНИЯМ – НАДЕЖНЫЙ ФУНДАМЕНТ**

*В.Я.Еремин, к.т.н., А.В.Еремин  
фирма РИТА, Москва, Россия*

В последние годы заметно изменился облик Москвы. Строятся красивые высотные здания, многие из которых станут визитной картой столицы. Но внешность бывает обманчива. За красивой оболочкой иногда скрывается не пристойное такой красоте качество.

Любому зданию необходимо надежное основание. Фундаменты не нужны только воздушным замкам!, которые, к сожалению, иногда пытаются строить в Москве.

Грунтовые условия в Москве очень сложные, за долгую геологическую историю были и моря, и ледники, и реки протекали в разных направлениях. Площадки с грунтовыми условиями, приемлемыми для строительства застроены и приходится использовать строительные неудобья. В таких условиях, возведение "высоток" без соответствующего фундамента – это почти всегда на грани авантюры.

К первоочередной проблеме авторы [1] отнесли оценку геологического состояния грунтов и их несущей способности. От этого зависит выбор фундамента. В мировой практике высотного строительства в основном применяют три вида фундаментов:

- плитный фундамент;
- свайный фундамент;
- комбинированный свайно-плитный фундамент.

Плитный фундамент дешевле свайно-плитного, который под солидной высоткой стоит больше 100 миллионов рублей. Велик соблазн сэкономить. И, как говорили классики, если капиталист видит 300% прибыли, он не остановится ни перед чем!

Перефразируя Маркса, можно сказать: бродят слухи по Москве, слухи об осадках высоток. Учитывая, что на волне перестройки всплыло много авантюристов, было бы удивительно, если бы это явление обошло стороной сферу строительного бизнеса. В руководители (начальники) некоторых больших строительных проектов попали лица, не имеющие достаточной подготовки и даже строительного образования. Если к определению начальник, ввести поправочный коэффициент на российский менталитет: «Я – начальник, ты - ...» знаете кто, становятся понятными многие принимаемые решения типа: «Я не идиот, тратить 4 млн. долларов США на сваи, кто их видит, буду строить на плите».

Сделаем оговорку: не называем фамилии и адреса реальных объектов, чтобы здесь написанное не сочли за акт недобросовестной конкуренции.

И строит...

Расчеты говорят здание «сядет» на 30 см и никакой гарантии, что равномерно, но что такое 30 см, для некомпетентного начальника, тем более, что сознание затмевают "сэкономленные зеленые". В итоге: автор запрещает использовать проект, чтобы не «прославиться» падающей башней; стройка встает; находят дешевых проектировщиков, до этого удачно проектировавших 5-этажки; продолжают строить, а здание кренится при 9 этажах. Спрашивают, можно ли исправить? Можно, только цена "вопроса" уже другая...; для выхода из положения, пытаются "укоротить" дом на 20 этажей (а квартиры проданы...); достроив до 14-го этажа, вынуждены встать окончательно...

Другой пример.

В основании одного из высотных домов в Москве залегают рыхлые пески мощностью 3...8 м. В материалах инженерно-геологических изысканий записано, что при давлении на грунт 3 кг/см<sup>2</sup> теряется линейная зависимость «нагрузка-деформация». Однако это не пугает руководителей, при давлении под плитой более 10 кг/см<sup>2</sup> смело строят на плите...

Сваи, по их убеждению, придумали трусы.

Третий пример.

В основании зданий весом по 137 000 тонн по данным инженерных изысканий на глубину 10-15 м ниже фундаментной плиты залегают насыпные грунты, погребенные не засыпанные подвалы и т.п. Забивают сваи – сколько "забиваются". На таком фундаменте, как и должно, дома кренятся, поэтому возведение коробки ведется с отставанием на 5-8 этажей со стороны, куда кренится башня. Запрашивают, можно ли усилить фундамент сваями и выровнять крен. Можно, если сделать под каждым домом сквозь плиту толщиной 2 м по 1500 свай несущей способностью 90 т. Цена предложения повергает в шок. Вместе с НИИОСПом убеждают нас, что сваи-РИТ надежны, и можно уменьшить до 500 свай под каждым зданием.

Если бы речь шла об уменьшении с 1500 до 1200 шт., мы были бы готовы обсуждать условия договора, а при сокращении в 3 раза..., мы не настолько "смелые", чтобы взвалить на себя технически не обоснованную ответственность.

Еще пример.

Под 42-этажный дом весом более 220 тыс. тонн проектом предусмотрено выполнить свайное основание из 1486 свай диаметром 320 мм, длиной 21 м, с нагрузкой на сваю 155 т. НИИОСП провел экспертизу и

согласовал техническое решение. Срок изготовления свайного поля – 3 месяца. Закипела работа, не успели изготовить 150 свай, которые испытали нагрузкой 186 т, осадки 12...13 мм, как нашелся «хороший» иноземный специалист, поковыряв носком ботинка землю в котловане и заявил, что проектировщики ничего не понимают, НИИОСП и экспертиза тоже, геологи намудрили, а дом нужно делать на плите. Нагрузки уменьшить: плиты перекрытий сделать потоньше, потолки "пониже", перегородки "пожиже"... и все это с претензией на элитное жилье. Но главное, чтобы дом стал легче почти в 2 раза, надо правильно его назвать, говорят, как корабль назовешь так он и поплывет, поэтому назвали дом так, как будто он плывет в воздухе.

Прошло лето, настала осень, котлован стоит... В октябре 2005 г. Заказчик силами независимой организации провел испытания 2-х свай-РИТ изготовленных под нагрузку 155 т. Надавили 240 т, осадка сваи 6,1 мм, на другую - 260 т, осадка 5,3 мм.

Что имеем в итоге на этом объекте?

Остановили работы в феврале 2005 г., а сейчас осень уже 2006 г. В котловане стояла вода, зимой замерзала, произошло поднятие дна котлована и разуплотнение грунта основания на глубину не меньше 15 м, т.к. сняли около 13 м грунта, создававшего пригрузку 20-25 т/м<sup>2</sup>. Теперь на этом объекте без свай не обойтись и длину их потребуются, уточнить расчетами по данным новых инженерно-геологических изысканий. Потеряно 1,5 года, вложенные деньги, и не малые "заморожены", оплачен новый проект, инфляция съела два десятка процентов (цены на цемент выросли на 70%), какая же достигнута экономия и что делать? Срезать 20 этажей?...- читайте выше. Нельзя природе приказать ...

Подобные примеры можно продолжать и продолжать, где выход?

А выход простой – на фундаментах "экономить" нельзя!!!

Сэкономишь рубль – потом потеряешь – честь, хотя честь некоторых руководителей "покрылась зеленью".

Основной вопрос в том, какие сваи применять? К сожалению, выбор не так уж широк.

**1. Можно использовать буронабивные сваи большого диаметра.** Однако следует помнить: в основании буровых свай, остается 5...10 см неудаляемого шлама [2] или грунта разрыхленного при бурении. В сухих скважинах этот грунт, как правило, не уплотняют, согласно СНиП [3] (п. 11.20), а в водонасыщенных согласно Инструкции [4] (п.12.3.9), сбрасывая в скважину трамбовку массой не менее 3-5 т. Представьте, что будет, при сбрасывании многотонной трамбовки в скважину, заполненную многометровым слоем бурового раствора. О несущей способности такой

сваи, как о покойнике, лучше не говорить, чем говорить плохо. Поэтому буронабивные сваи логичнее было бы называть буровыми.

В расчетах несущей способности таких свай коэффициент условий работы грунта в их основании, принятый в СНиП 2.02.03-85 [5] и СП 50-102-2003 [6]  $\gamma_R = 1,0$ , следовало бы установить, с учетом наличия неудаляемого рыхлого грунта и шлама, не более  $\gamma_R = 0,5 \dots 0,6$ .

Например, немецкие нормы DIN 4014 (п.6.2.3) [7] требуют: если не удастся полностью удалить осадок с забоя, то несущую способность сваи за счет трения на боковой поверхности следует уменьшить до  $\frac{2}{3}$  от вычисленного значения.

**2. Можно использовать сваи, изготавливаемые методом НПШ** (непрерывно перемещаемого шнека). По этому методу, скважину бурят с минимальной элевацией грунта. При достижении долотом расчетной глубины, открывают клапан и бетонную смесь под высоким давлением подают в скважину. Окружающий грунт опрессовывают избыточным давлением. Таким образом, грунт в основании сваи, разрушенный долотом, уплотняется.

Все бы хорошо, но есть одно существенное «Но!».

В расчете несущей способности сваи по грунту существенную роль играют физико-механические характеристики грунта. Например, для буровых свай согласно [6], на глубине 15 м максимальное расчетное сопротивление крупных песков составляет  $820 \text{ т/м}^2$ , песков средней крупности уже  $440 \text{ т/м}^2$ , мелких  $290 \text{ т/м}^2$ , а пылеватых  $165 \text{ т/м}^2$ . Геологи, делая литологический разрез, выделяют десятки переслаивающихся инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Если 15-метровую скважину в песках средней крупности не добурить на 10 см, несущая способность сваи снижается на 0,2%. Но, если, ошибочно остановится забоем в мелком песке, а не песке средней крупности, который учтен в расчете несущей способности сваи, то, согласно [6] не доберем 34,1% несущей способности. Влияние ошибки по глубине бурения на 10 см (0,2%), а ошибки соответствия параметров грунта в основании сваи расчетным (34,1%).

Не случайно СНиП [3] (п. 11.25), Инструкция [4] и СП [6] требуют: по окончании бурения проверить соответствие проекту фактической отметки забоя скважины и **установить соответствие типа грунта основания данным инженерно-геологических изысканий или проекта.**

Как выполнить последнее (выделенное) требование при устройстве свай по технологии НПШ? Никак! Бурение и изготовление свай осуществляется "вслепую", и последствия такого фундаментирования могут оказаться...

**3. Можно использовать весьма надежные забивные сваи.**

Однако здесь возникают другие проблемы.

Первая, как забивать сваи в котлованах глубиной 10 и более метров? Распорную систему применять нельзя, она мешает работать копрам. Вторая, как быстро будет разуплотняться грунт в основании от динамического воздействия при отсутствии пригрузки, т.е. при отсутствии грунта, который разработали в глубоком котловане? Нужны исследования на уровне диссертационных работ. Не забивать же сваи с дневной поверхности. Третья. При длине более 12 м придется забивать составные сваи, время на стыковку свай резко снижает производительность. Четвертая. Наличие прослоев песчаных разностей, которые сложно пробить сваями. Лидерные скважины не всегда можно применить.

На одном объекте под слоем текучепластичных суглинков мощностью до 11 м залегало 4...6 м рыхлых мелких песков, которые нужно проходить сваями сечением 35x35 см длиной 18 м, заглубляя их в твердые глины. Авторы проекта разрешили бурить лидерные скважины диаметром 320 мм, не задумываясь о снижении несущей способности свай. У подрядчиков возник только один вопрос: оплаты третьего бурения лидерной скважины, т.к. при двух проходках стенки скважины обрушились после нескольких ударов молота, свая не погружалась. Третье "бурение" одной и той же скважины отказывался оплачивать Заказчик.

Риторический вопрос, какова несущая способность такой сваи и что делать с негативным трением верхней толщи суглинков, из-под которых выбурили песок?

#### **4. Можно сваи погружать методом вдавливания.**

В этом способе подкупает наглядно "достигаемая" несущая способность каждой сваи.

Следует выяснить, что считать несущей способностью вдавливаемой сваи. Когда натурная свая испытывается статической вдавливающей нагрузкой по ГОСТ 5686-94 [8], то после каждой ступени нагрузки фиксируют осадки до наступления условной стабилизации. За критерий условной стабилизации деформации натурной сваи принимается скорость осадки сваи не превышающая 0,1 мм за последние 2 часа, если под нижним концом сваи залегают глинистые грунты от мягкопластичной до текучей консистенции, в остальных случаях за последующий час.

Значение нагрузки, при которой общая осадка сваи с учетом стабилизации не превысит 40 мм, принимается за испытательную нагрузку. Несущая способность сваи  $F_d$  определяется с учетом коэффициентов условий работы. Расчетная нагрузка, передаваемая на одиночную сваю, рассчитывается путем введения коэффициента надежности, минимальное значение которого согласно СНиП 2.02.03-85 (п. 3.10) [5]  $\gamma_k = 1,2$ .

Если поверить доводам, что каждая свая якобы испытывается, то можете посчитать, сколько дней потребуется, чтобы задавить сваю под ту нагрузку, на которую она якобы рассчитана.

Для ускорения погружения задавливаемых свай бурят лидерные скважины на 1 метр короче расчетной глубины погружения, а последний метр сваю вдавливают. Но если свая погрузилась не на 4 см, а на 1 метр, значит ее несущая способность много меньше той нагрузки, при которой ее погружали. В СП 50-102-2003 [6] (п.15.2.23) рекомендуется вдавливающее усилие устанавливать не менее чем на 20% больше несущей способности сваи  $F_d$ , рассчитанной по нормам. Если масса установки 120 т и  $\frac{2}{3}$  ее сосредоточено над вдавливаемой сваей, т.е. 80 т, то допустимая нагрузка на такую сваю не может превышать  $N = 80:1,2:1,4 = 47,6$  т. Другими словами, установка массой 120 т может вдавливать сваи под нагрузку не более 50 т, все остальные заявления - реклама.

Похоже, что гора железа массой 120 т, рождает мышь.

**5. Можно применять сваи-РИТ**, отличающиеся от других видов буровых свай тем, что грунт под ее нижним концом и по всей длине ствола сваи уплотняют серией электровзрывов. В результате уплотнения грунта в основании до степени, превышающей плотность грунта под забивной сваей, несущая способность свай-РИТ становится выше чем забивной. При этом нет разрушительного низкочастотного динамического воздействия на грунт, так как электровзрыв происходит в локальной зоне и в движение не вовлекаются сколько-нибудь значительные массы грунта, как при забивке свай. Крепления бортов котлована и окружающие, даже ветхие здания, легко переносят высокочастотные (50 Гц и более) динамические воздействия, названные немецкими коллегами - щадящими. Скорость распространения волн столь высока, что здания их "не слышат".

Несущая способность по грунту свай-РИТ диаметром 300 мм при их длине 15...21 м, как правило, превышает 150 т.

Например, на проспекте Вернадского, д. 37 испытывали по ГОСТ 5686-94 [8] восемь свай-РИТ диаметром 300 мм длиной 21 м, нагрузкой 216 т – максимальная осадка составила 16,18 мм. Дом высотой 120 м, весом 127000 т, построенный на 899 сваях-РИТ, после двух лет эксплуатации осадки стабилизировались, не достигнув 40 мм. Экономическая эффективность по сравнению со сметной стоимостью основания из свай диаметром 1 м, предусмотренных в первоначальном проекте, превысила сто миллионов рублей.

Дом высотой 78,5 м на Давыдовской улице возведен, идут отделочные работы (нагрузка 70% проектной = 200 тыс. т). Осадки составили 30 мм, и, скорее всего, не превысят 40 мм после двух лет эксплуатации. Хотя в основании залегают текучие супеси с плавунными

свойствами, 1370 свай-РИТ длиной 19 м, обеспечили надежное основание. Экономическая эффективность по сравнению с основанием из других свай по результатам тендера превысила 12 миллионов рублей.

Закончено устройство свай-РИТ в основании 33 этажного здания у метро Семеновская, полным ходом идет возведение монолитных конструкций уже 14 этажа. Ведется мониторинг за деформациями. Заказчик доволен.

За последние 5 лет объемы применения свай-РИТ возросли без учета инфляции более чем в 7 раз. Можно еще больше увеличить, но нас сдерживает отсутствие территории для экспериментальной и производственной базы. Может показаться странным, но экспериментов и исследований по сваям-РИТ провели больше в Германии и Южной Корее, чем в Москве.

В Германии фирма Stump Spezialtiefbau GmbH предоставила свой полигон для испытаний, материалы, оборудование и персонал, провела целую серию исследований, в результате получено много полезной информации. Аналогичная ситуация в Южной Корее. Сеемся, что в Германии и Корее земли больше, чем в России, поэтому и проводим там исследования. Мало того, фирма "Дэу констракшн" выделила на исследования такие огромные средства, о которых в России и мечтать не приходится. В итоге, используя проведенные за рубежом исследования, совместно с НИИМосстроем разработали технические рекомендации по проектированию и устройству свай-РИТ для высотных зданий, которые утверждены Руководителем департамента градостроительной политики, развития и реконструкции Москвы (приказ № 96 от 6.05.06 г.).

**6. Можно применить сваи, изготавливаемые по технологии Фундекс, Атлас, Франки, когда скважина формируется без выемки грунта путем ее раскатывания теряемым наконечником.**

Неплохие получены результаты, однако несущая способность свай в раскатанных скважинах оказалась на 20...30% ниже, чем свай-РИТ того же диаметра. Кроме того, сложные грунтовые условия не позволяют использовать эту прогрессивную технологию на большинстве объектов в Москве.

Хотелось бы высказать пожелание заказчикам, назначать испытательные сваи не заранее в проекте, т.к., испытательную сваю всегда сделают чуть лучше остальных, а методом случайного выбора после изготовления свайного поля.

Строительство высотки обходится не в один миллиард рублей, а комбинированный свайно-плитный фундамент в 100..150 миллионов, т.е. не более 10...12%, но это приемлемые затраты, чтобы не иметь головной

боли с кренами, не работающими лифтами и т.д. Следует помнить, что многие "сэкономившие" на фундаментах потом жалеют об этом. Фундамент – это опора всего здания, на которой "экономить" рискованно.

Использованная литература:

1. Магай А.А., Магай Е.А. Проблемы проектирования и строительства высотных зданий. Жилищное строительство. № 4, 2005. с. 2-5.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения/ Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И. и др.; под общей редакцией Сорочана Е.А. и Трофименкова Ю.Г. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
3. СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
4. Инструкция по проектированию и устройству свайных фундаментов зданий и сооружений в г. Москве. - - М., ГУП "НИАЦ". 2001. - 147 с.
5. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов.
6. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов
7. DIN 4014. Bohrpfähle. DIN-Taschenbuch 36. Erd- und Grundbau. Normen (Bauwesen 5). Beuth Verlag GmbH. Berlin-Köln, 1991. s. 66-87
8. ГОСТ 5686-94 Грунты. Методы полевых испытаний сваями.