

ГЕОТЕХНИКА МОСТОВ И ЭСТАКАД
Ястребова О. С., Прокопьева Д. С., Харисова А. Ф.
научный руководитель мл. науч. сотр. Арусланова В. Н.
Сибирский Федеральный Университет

Начало XXI века ознаменовалось бурным ростом мостостроения, как в количественном, так и в качественном отношении. Например, мост через реку Волгу в городе Ульяновске длиной более 5 км, вантовый мост во Владивостоке с пролетом 1084 м на остров Русский через пролив Босфор Восточный и множество других. Необходимость строительства мостов – очевидна, так как позволяет снизить нагрузки на улично-дорожную сеть города, проблема которых существует и в Красноярске. В 2012 году начнется строительство очередного моста через реку Енисей.

Строительство моста – это сложнейшая инженерная задача, где необходимо учесть ряд факторов:

- производственно-эксплуатационных, обеспечивающих удобное и безопасное движения по мосту и судоходства под ним; конструкции пролетных строений и опор должны быть рациональными для изготовления и возведения, а также удобными в эксплуатации;

- расчетно-конструктивных, обеспечивающих прочность, жесткость и устойчивость конструкций моста в течение всего срока службы; сооружение в целом и его элементы должны быть стойкими против воздействия воды, температуры, льда, вредных примесей, содержащихся в воздухе и воде;

- экономических (выбор решения, требующего наименьшей затраты средств и материалов на строительство при возможно меньшей трудоемкости работ по возведению сооружения).

Чтобы обеспечить необходимые требования, в первую очередь, необходимо правильно устроить основание, а значит – учесть геотехнические характеристики грунта.

Для нового Красноярского моста (грунт сложен в основном из песчано-илистых отложений) был предложен метод погружения шпунта или шпунтовых свай, который осуществляется одним из трех методов – вибрационным, ударным или вдавливанием.

Вибрационный метод применяется при необходимости погружения шпунта в супесчаный или водонасыщенный грунт. Процесс вибропогружения осуществляется при помощи специальных электромеханических вибропогружателей. Данный способ, благодаря использованию совершенной грузоподъемной и самоходной техники, а также скорости погружения, считается наиболее экономичным.

Погружение шпунта ударным методом применим для любого типа грунта. Однако имеются ограничения при погружении вблизи жилых городских застроек. Также, под воздействием сваебойных машин или удара молотом шпунт очень часто подвергается деформированию, что отрицательно сказывается на процессе погружения.

Метод статического вдавливания шпунта является самым прогрессивным и безопасным с экологической точки зрения, т.к. современные сваевдавливающие машины, используемые при погружении шпунта, совершенно бесшумные и не разрушают грунт. Процесс вдавливания свай подвергается автоматическому контролю. Благодаря компактности, высокой производительности и мобильности таких устройств, данный метод является наиболее эффективным и достаточно экономичным.

Шпунтовую сваю можно погружать неоднократно. Перед началом погружения ее проверяют на прямолинейность, отсутствие разного рода дефектов, состояние замков, удаляют наплывы и заблаговременно подготавливают угловой шпунт.

Чтобы сравнить, насколько предложенный метод эффективен или нецелесообразен, рассмотрим отечественный опыт строительства мостов и эстакад.

В Российском мостостроении, существуют буровые установки и сваебойное оборудование ведущих зарубежных фирм Bauer, Liebherr, Junttan, Kato, Casagrande, Hitachi, Menck, Red Bull, Mait, Fundex. Это обусловлено функциональным многообразием объектов и сложными инженерно-геологическими, гидрогеологическими, климатическими, сейсмическими и мерзлотными условиями. При этом импортное оборудование было адаптировано к конкретным условиям и объектам путём разработки специальных требований к инженерным изысканиям на основе новой модели геомассив-основание-фундамент-сооружение. Благодаря этому, существенно усовершенствованы и разработаны новые технологии устройства традиционных фундаментов методами вертикально перемещающейся трубы, CFA, Red Bull, Fundex, Super Mud, Jet grouting и других подземных конструкций (стена в грунте, буросекущиеся и бурокасательные сваи, укрепительная цементация известняков в основании буронабивных столбов и др.).

Более 98 % фундаментов мостов и эстакад возводятся на сваях, причем имеет место тенденция, особенно в последние годы, увеличения объема буронабивных свай в общем объеме.

Эффективным применением буровых установок и сваебойного оборудования является учёт инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадок и территорий строительства. Рассмотрим каждый из них подробнее на основе конкретного примера.

Забивные сваи. Основной номенклатурой забивных свай при строительстве мостов и эстакад можно назвать сваи размером 35x35 и длиной 8 и 12 м. В последние годы все более широко для погружения забивных свай используются гидромолоты установок Junttan и Menck, существенно увеличивших производительность труда и повысивших культуру производства работ.

Однако при оценке несущей способности забивных свай возникли некоторые трудности. В мостостроении для забивки свай широко используются гидромолоты и практически не применяются дизельмолоты. Так называемая формула Герсеванова (приведенная в СП 24.13330.2011) не дает приемлемых результатов при оценке несущей способности забивных свай по результатам забивки гидромолотами. Известные формулы Крендела, Челлиса практически не могут быть использованы ввиду большого диапазона и количества поправочных коэффициентов. Аналитические исследования и производственный опыт дали возможность установить, что формула Герсеванова, как и другие формулы, не учитывают в полной мере количество движения и импульс при забивке свай. Исследования позволили с приемлемой точностью оценить поправочный коэффициент к формуле Герсеванова в зависимости от инженерно-геологических условий. Таким образом, в принципе проблема определения несущей способности забивных свай может решаться только при детальном анализе инженерно-геологических условий.

Буронабивные сваи. Среди множества технологий наиболее широкое распространение получила технология ВПТ (вертикально перемещаемой трубы) с использованием обсадных металлических труб. Эта технология применяется в очень широком диапазоне различных инженерно-геологических условий. Одним из недостатков этой технологии является наличие слабых прослоек в инженерно-геологическом разрезе. Техническим решением этого вопроса было устройство оболочки из полимера в пределах толщины слабого слоя грунта. Такое решение было использовано на строительстве моста через реку Ликову в городе Москве. Другим техническим решением стала металлическая обойма, примененная в городе Сочи

(район Альпика-Сервис) при наличии в поверхностных слоях слабого грунта и активной гидрогеологии. Следует отметить, что в мостостроении сваи ВПТ применяются, как правило, большего диаметра, нежели в гражданском строительстве. Основной размер диаметра свай 1,5 м длиной до 50 – 60 м. Сваи длиной 56 м и диаметром 1,5 м с уширением были сделаны на правобережном оползневом участке моста через реку Волгу в Ульяновске.

Далее по объёму применения за вертикально перемещающейся трубой следуют сваи CFA (Continuons Flight Auger). В Российской Федерации их называют НПШ (непрерывно перемещаемый шнек). Диаметр свай 300 – 1200 мм, длина – до 30 м. Эта технология очень эффективна и применяется в основном в однородных и устойчивых грунтах. Она была использована в полной мере при реконструкции Ленинградского проспекта и Ленинградского шоссе в Москве. При применении в иных инженерно-геологических условиях могут встретиться серьезные трудности, связанные со сплошностью бетона и геометрией свай. Существуют технологические регламенты, определяющие режим погружения и извлечения шнека при применении свай НПШ в различных инженерно-геологических условиях.

Сваи по технологии Red Bull, как показал опыт их применения в московском регионе, целесообразно использовать только в песках, причем неплотных. Суть технологии заключается в вибропогружении стальной трубы и оставлении башмака на забое скважины при заполнении ее бетоном в процессе подъема трубы. На песках она достаточно эффективна и применялась в Санкт-Петербурге и Калининграде. Ограничением в городских условиях является высокая динамика, влияющая на прилегающие сооружения.

Технология изготовления свай под глинистым раствором, а затем и с применением нового полимера Super Mud нашла применение на строительных объектах Москвы. Эта технология применяется в инженерно-геологических условиях, когда скважина стабильна при заполнении ее бетоном.

Буронабивные сваи с уширением стали огромным прорывом в мостостроении, так как грунты рек в основном представляют собой непрочное основание, а, следовательно, имеют слабую несущую способность. Данный способ позволяет перекрывать горизонты плавунных грунтов, обеспечивать безопасность ведения свайных работ, контролировать параметры буровой скважины, гарантировать высокое качество заполнения скважины бетоном, а уширение распределяет нагрузки на основание. На данных сваях были построены многие крупные мосты, в том числе через реки Чулым (у Асино), Иртыш (в Омске и у Тобольска), Обь (у Сургуты), Дон (у Калача), Днепр (в Киеве), Даугаву (в Риге), Белую (в Уфе).

Поиск оптимальных конструкций фундаментов является особо актуальным для вантовых и висячих мостов, получающих в последнее время всё более широкое распространение. В России более 10 крупных вантовых мостов, среди которых строящийся уникальный мост с пролетом 1084 м во Владивостоке через пролив Босфор Восточный. Сложные инженерно-геологические условия, сеймика, колоссальные нагрузки на пилоны (высота более 300 м) потребовали использования буронабивных свай диаметром 1,5 м, заделанных в песчаники на глубину до 37 м. Для сравнения – пилон вантового моста Сутонг в Китае был спроектирован на фундаменте из металлических свай длиной более 90 м.

Особым вопросом для буронабивных свай является строительство на известняках, которые подвержены карстовым процессам. Это актуально для Москвы, Среднего и Южного Урала (Уфа, Пермь, Красноуфимск). С целью повышения надежности и качества устройства фундаментов разработана оригинальная методика

укрепительной цементации, применённая при строительстве эстакад 4-го транспортного кольца в Москве.

Методика укрепительной цементации в известняках, подверженных карстовым процессам, в модифицированном виде используется и в гражданском строительстве.

Оценка несущей способности и качества устройства буронабивных свай является главной задачей при устройстве таких свай.

Контроль качества и эффективности укрепительной цементации осуществляется с использованием акустических методов исследования по так называемой поинтервальной методике.

Традиционные испытания свай на различные статические нагрузки трудоемки, а при несущей способности более 1500 тс к тому же достаточно технически сложны.

Разработанный организацией TNO (Голландия) динамический метод DLT (Dynamic Load Test) требует сложного приборного и программного обеспечения и не может быть применен в массовом порядке. Однако в ряде случаев его применение целесообразно. Этот метод был адаптирован в России. Достоверность и эффективность метода определяется глубиной анализа инженерно-геологических исследований. В нашей стране мостостроители широко применяют метод «штамповых» испытаний, который дает возможность определять частное значение предельного сопротивления грунта для пяты сваи. Метод усовершенствован и для полной сваи. Здесь имеется в виду учет трения по боковой поверхности.

В дополнение к этому разработана методика оценки несущей способности буронабивных свай динамическим методом по аналогии с забивными сваями, что по сути немногим уступает DLT.

Качество устройства фундаментов, мостов и эстакад, тем более, когда диаметры буронабивных свай достигают 2,5 м и длина более 50 м, имеет большое значение. Основным методом испытаний буронабивных и забивных свай является акустический метод с использованием широкого диапазона частот, в частности от нескольких Гц до сотен кГц. На основе приборов «Бетон», PET, SIT разработаны методики, позволяющие выполнить оценки сплошности, целостности и геометрии свай.

На основе комплексного анализа инженерных изысканий, проектирования и строительства фундаментов городских мостов и эстакад можно сделать следующие основные выводы:

1. При строительстве мостов и эстакад используются самые современные установки и оборудование ведущих зарубежных фирм.

2. Новые технологии в фундаментостроении, включая зарубежные, в полной мере адаптированы к инженерно-геологическим, климатическим и гидрогеологическим условиям городов России.

3. Контроль качества устройства фундаментов, геотехнических испытаний осуществляются на основе новых приборов и методик.

4. Современные установки и оборудование, технологии устройства фундаментов мостов и эстакад, контроль качества строительства геотехнической части могут обеспечить высокие темпы и качество строительства городских мостов и эстакад.

Таким образом, при строительстве Красноярского моста, предложенный метод статического вдавливания шпунта и буронабивные сваи с уширением являются наиболее оптимальными при данных характеристиках грунта, они послужат прочным основанием и обеспечат все необходимые производственно-эксплуатационные, расчетно-конструктивные и экономические факторы.