

Применение безрезонансного вибропогружения при геотехнических работах

Н.С. Жаворонко
ОАО "Фундаментпроект", Москва, РФ

С.Н. Жаворонко
ЗАО "ПСУ Гидроспецстрой", Москва, РФ

И.С. Кабанов
Московский Государственный Строительный Университет, Москва, РФ

АННОТАЦИЯ: В данной статье рассмотрены основные принципы технологии безрезонансного вибропогружения, а также рассмотрен опыт и перспективы развития.

Вопрос устройства ограждений котлованов сравнительно недавно стал занимать инженеров проектировщиков, в связи с развитием строительства зданий и сооружений с развитой подземной частью, а так же в условиях стесненной городской застройки. Однако история применения свай в качестве основания тянется еще с древних времен. Долгое время основным (да и, пожалуй, единственным) способом погружения свай являлась забивка. Идея применения вибрационных воздействий для погружения элементов (изначально – свай) всерьез начала прорабатываться в 20 – 40-х годах XX века. Сохранились единичные источники применения вибропогружения в более ранние периоды: так, например, описывается строительство в XVIII веке на территории Шотландии фортификационных сооружений в болотистой местности на деревянных сваях, погружаемых в грунты путем «подпрыгивания и раскачивания» людей на дощатых площадках, закрепленных «на верхней трети» погружаемого элемента. Такой способ можно считать «прародителем» современных вибропогружателей.

В начале - середине прошлого века к идее вибропогружения обращались инженеры практически всех европейских стран (особенно Голландии и Великобритании – в силу широкого распространения неустойчивых, водонасыщенных, болотистых грун-

тов).

В СССР теория вибропогружения была разработана и сформулирована профессором Д.Д. Барканом в 1949 году. Впервые на практике вибропогружатель использовался при строительстве Горьковской ГЭС, проектирование и строительство которой длилось в период с 1948 по 1959 года.

В 1964 году технология вибропогружения достигла масштабного развития, позволив погружать наклонные сваи-оболочки, при строительстве автодорожного моста через реку Южный Буг (самый большой автодорожный мост в СССР на то время).

В настоящие дни вибропогружение, как вид геотехнических работ, начало получать широкое распространение не только в Санкт-Петербурге, но и в Москве. Сдерживающим фактором развития в прошлом являлось массовое строительство в более простых - менее проблемных, с точки зрения инженерно-геологических условий, местах. С течением времени, с развитием освоения подземного пространства городской застройки г. Москвы стали появляться стройплощадки с высоким уровнем грунтовых вод, с заглублением подземных частей зданий во влажные и водонасыщенные грунты. Устройство "стены в грунте" не всегда бывает оправдано с экономической точки зрения и требует выполнения большо-

го объема подготовительных работ. Также при устройстве "стены в грунте" в водонасыщенных "слабых" грунтах существует свой комплекс проблем. Устройство шпунтового ограждения в сравнении со стеной могло бы решить проблемы, в том числе и экономическую, но традиционные методы погружения - забивка и погружение вибропогружателями нормальной и высокой частоты вблизи с существующими зданиями невозможно из-за динамических колебаний, передаваемых от грунта на конструкции зданий.

С появлением поколения безрезонансных вибропогружателей проблема передачи колебаний была решена.

Для того чтобы определить основные преимущества безрезонансного вибропогружения необходимо сначала разобраться в основных принципах работы гидравлического (и не только) вибропогружателя: Вибропогружатель передает вибрацию погружаемому элементу (трубе, шпунту и т. п.) с целью его погружения или извлечения.

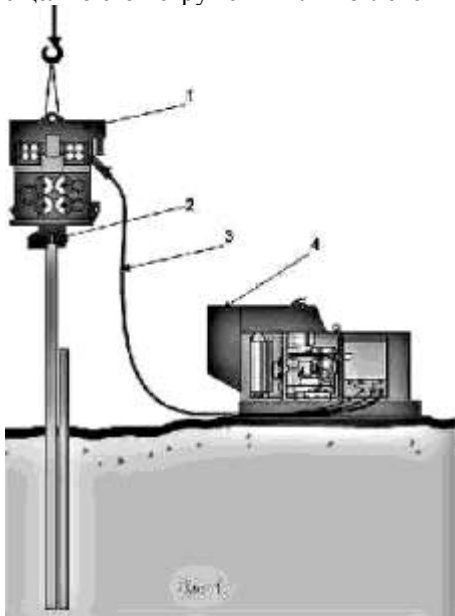


Рис.1. Схема работы гидравлического вибропогружателя.

- 1) Гидравлический вибропогружатель;
- 2) Зажим;
- 3) Шланги, соединяющие вибропогружатель и силовой агрегат;
- 4) Дизельный гидравлический силовой

агрегат.

Прилегающий к погружаемому элементу грунт, под воздействием вибрации, теряет сцепление с его поверхностью, что способствует погружению в него элемента под действием собственной массы и массы вибропогружателя. Тот же принцип используется для извлечения элемента посредством тягового усилия крана.

Вибрация возникает следующим образом: установленные в редукторе два несбалансированных груза (дисбалансы) одновременно вращаются во взаимно противоположных направлениях. Одновременное вращение вызывает циклическую вертикальную (вверх и вниз) вибрацию, как показано на диаграмме:

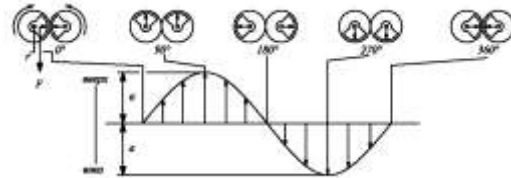


Рис.2. Диаграмма работы вибропогружателя с постоянной амплитудой колебаний.

Установленные парами дисбалансы вращаются с одинаковой угловой скоростью в противоположных направлениях и генерируют центробежные силы. Горизонтальные составляющие этих сил компенсируются, а вертикальные составляющие складываются, образуя центробежную силу $F=mr\omega^2$, где:

- где m - дисбалансный момент, кгм
- ω - угловая скорость, рад/сек

Принципиальным отличием безрезонансных вибропогружателей от высокочастотных и вибропогружателей нормальной частоты является возможность изменения частоты и амплитуды непосредственно в процессе погружения.

Амплитуда A (мм) — общее вертикальное смещение вибрирующих элементов в течение полного оборота эксцентров. Максимальная амплитуда рассчитывается по формуле: $A=2a$, $a=mr/M$, где:

M - динамическая масса в вибрации (перемещение части вибропривода + зажима + погружаемого элемента), кг.

Изменение производится оператором через пульт дистанционного управления.

За счёт изменения вышеупомянутых характеристик можно избежать больших кратковременных вибраций, наступающих в момент, когда частота вибрации совпадает с собственной частотой колебания грунта. В момент пуска машины дисбалансы находятся и начинают вращаться под углом 180 градусов друг против друга, производя нулевую амплитуду колебаний, иными словами, при запуске дисбалансы перемещаются относительно друг друга так, что центробежные силы уравниваются. Диаграмма в таком случае будет выглядеть следующим образом:

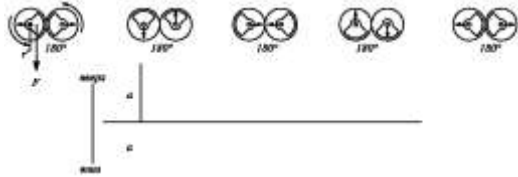


Рис.3. Диаграмма работы вибропогружателя (во время пуска/остановки) с переменной амплитудой колебаний.

Т.е. в момент пуска и набора частоты вибропогружатель не генерирует колебания.

Таким образом, в самый неблагоприятный момент, во время пуска после остановки, или при извлечении элементов шпунта, когда массив грунта прочно «прилеплен» к поверхности элемента, не происходит полной передачи пиковых вибраций на грунты основания и, соответственно, на конструкции окружающих строений. Постепенно угол поворота дисбалансов увеличивается, и после того как грунт теряет сцепление с поверхностью погружаемого (извлекаемого) элемента, амплитуда и частота достигают нужных значений.

Т.е. полный процесс погружения можно представить в виде графика, представленного на рис.4.

Возможность постоянного изменения частоты и амплитуды колебаний позволяет производить работы даже в условиях стесненной застройки, в случае примыкания к зоне ведения работ разнотипных сооружений (с различной частотой собственных колебаний). При этом не возникает резонансных явлений, т.к. не происходит длительной работы на частоте, совпадающей с частотой собственных колебаний одного из сооружений или какого-либо (каких-либо) из его элементов.

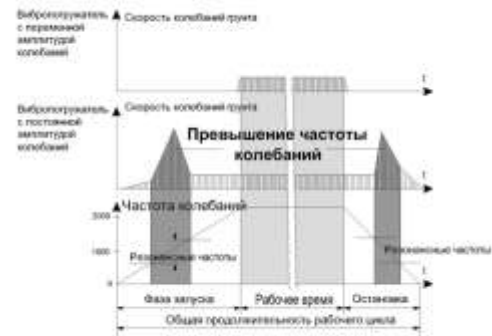


Рис.4. График сопоставления режимов работы вибропогружателей с постоянной и переменной амплитудой колебаний.

В качестве примера приведены фотографии (фото. 1 и фото. 2) устройства шпунтового ограждения вплотную к существующим строениям на объекте: "Строительство административно-бытового здания по адресу: Москва, ЦАО, ул. Сретенка, вл.10/3, стр.1".



Фото 1.



Фото 2.

Очевидно, что технология безрезонансного вибропогружения обладает рядом преимуществ:

- безрезонансный пуск и остановка;
- низкий уровень шума и вибрации, (уровень шума не выше 50 децибел, что соответствует стандарту Евро 4);
- высокая экологичность;
- низкая потребность в энергии по достижении рабочей частоты через приспособление амплитуды;
- оптимальное приспособление частоты и амплитуды к грунтовым условиям;
- автоматическая стабилизация частоты и избежание резонанса в моменты достижения предельной нагрузки;
- удобная система управления;
- высокая производительность;
- мобильность;
- подготовка к началу работ 20 - 40 мин.
- универсальный гидравлический зажим позволяет производить погружение элементов (шпунта, труб, прокатных профилей, свай и т.д.) практически любых сечений и размеров.

Как уже упоминалось, стало возможным извлечение элементов шпунта для повторного его применения, а, как известно, ни один из известных способов устройства огражде-

ния котлованов не позволяет использовать материалы повторно.

Это поколение вибропогружателей также наиболее приспособлено для работы в сложных переменных грунтовых условиях, за счет подбора оптимальных режимов работы для каждого из инженерно-геологических элементов, на конкретной строительной площадке. Кроме того, возможность погружать элементы практически любого сечения, выполненные из различных материалов (сталь, бетон, пластик), открывает возможности для использования вибропогружения в широком спектре геотехнических работ: устройство ограждений котлованов, погружение свай, устройство противofильтрационных завес и геотехнических экранов. Следует заметить, что несмотря на достоинство данной технологии возможность её применения на той или иной строительной площадке должна определяться квалифицированными специалистами на основании конкретных инженерно-геологических условий.

ЛИТЕРАТУРА

- Holeyman, Alain E. 2000. Lecture: *Vibratory driving analysis*.
- ICE 10th anniversary. *Resonant vibration for deep soil densification*.
- Дубровский М., Пойзнер М. 2004, Гидравлические вибропогружатели в современном портостроении. Порты Украины. No. 3.