

САМОСИНХРОНИЗАЦИЯ ВИБРОПОГРУЖАТЕЛЯ ДЛЯ СВАЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ШИРОКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ

Калиев Медет Берикович, Жаркылов Есет Сериккулы, Акжигитова Айгерим Жубантайкызы

kaliev.medet@list.ru, zharkylov_yes_1@enu.kz, aigerim.199801@gmail.ru

Магистранты, ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель – к. т. н., Алимжанов Мурат Дуанбаевич

Вибратомеханизмы играют важную роль во многих строительных процессах и, в частности, используются для установки и/или извлечения свай и шпунтовых свай. Во многих странах, и особенно в Европе, новые инновационные вибрационные разработано приводное оборудование, в частности гидравлические вибраторы, такие как вибраторы с переменной рабочей частотой и переменной амплитудой (эксцентрикковый момент). Вибраторы могут либо подвешиваться к крану, либо направляться тросами в зависимости от конкретного применения. Работу современных гидравлических вибраторов можно контролировать, контролировать и документировать на всех этапах работы.

В геотехнической литературе описано много успешных применений вибраторов для забивки свай или шпунтовых свай или установки обсадных труб. Вибрационное вождение часто позволяет достичь высокой производительности при минимальном воздействии на окружающую среду. Однако выбор вибрационного привода должен осуществляться с тщательным учетом конкретных условий проекта, таких как геотехническая и гидрогеологическая обстановка, экологические соображения и т. д. В противном случае воздействие окружающей среды (например, колебания грунта) может иметь негативные последствия. Выбор вибраторов для конкретных применений часто основывается на эмпирических правилах. К сожалению, многие фундаментные компании оставляют выбор типа вибратора и выбор рабочих параметров инженерам-механикам, которые часто недостаточно понимают фундаментальные геотехнические принципы.

– Управляемость: выберите соответствующую систему вибратора и операции для обеспечения эффективной работы.

– Несущая способность: убедитесь, что требуемая несущая способность может быть достигнута.

– Воздействие на окружающую среду: сведите к минимуму вибрацию грунта и/или шум.

Амплитудно-зависимое взаимодействие свай с грунтом. Помимо меньших потерь при передаче энергии свае и большей длины силовой волны, существуют и другие принципиальные отличия взаимодействия свай с грунтом забивных и вибрационных свай.

В случае ударного забивания необходимо преодолеть инерцию свай и сопротивление сдвигу по границе раздела свая-грунт. В конце каждого удара стопка

проникновения замедляется, и статические условия возвращаются вдоль сваи. В случае вибрационной забивки свая продолжает колебаться в осевом направлении (обычно вертикально) в течение всей фазы забивки. Было предложено несколько гипотез, чтобы объяснить, почему вибрационное вождение более эффективно, чем ударное вождение в крупнозернистом грунте. Примерами возможных причин уменьшения трения вала (постоянного и/или временного), упоминаемых в геотехнической литературе, являются «трение качения», «разжижение» и «деградация материала». Однако эти термины в основном носят описательный характер, и поэтому их трудно определить количественно. Необходима более рациональная концепция, которая может быть основана на циклических силах, возникающих при вибрационном движении. Натурные измерения колебаний грунта при виброприводе показали, что вертикальная колебательная сила создает – за счет трения вала – горизонтальную колебательную силу.

При контактная сила между носком сваи и грунтом сводится к нулю. Если движение сваи вверх остановится в точке, то ее носок не отделится от подстилающего грунта. Это будет иметь место, если амплитуда смещения сваи мала. Если движение сваи вверх продолжается, носок сваи отрывается от грунта. На этом этапе между грунтом и носком сваи может образоваться пустота, вызывающая всасывание («кавитацию») между носком сваи и грунтом под носком. Эта фаза вибрационной забивки важна, поскольку она может привести к переформовке и/или разрыхлению грунта под носком сваи. Когда цикл колебаний меняется на обратный, свая снова движется вниз и, после некоторого движения восстанавливает контакт с почвой. Сопротивление носка во время следующего цикла зависит от воздействия предыдущего цикла вибрации на почву под носком.

Изменение сопротивления зацепа во время вибрационного вождения принципиально отличается от такового при ударном вождении. В случае ударного забивания носок сваи будет оставаться в контакте с подстилающим грунтом. Напротив, при вибрационной забивке носок сваи может отделиться от подстилающего грунта. Как уже упоминалось, разделение зависит от амплитуды смещения и эффекта переформовки/всасывания во время этой фазы вибрационного движения. Если расстояние между носком сваи и нижележащим грунтом незначительное или отсутствует, сопротивление движению вниз (проникновению) будет примерно таким же, как при ударном забивании. Очевидно, что амплитуда вибрации влияет на сопротивление схождения/почвы во время вибрационного движения

Горизонтальные колебания грунта. Комплексная программа испытаний в [1] исследовала, возникают ли в грунте горизонтально колеблющиеся волны во время вибрационного движения. Приблизительно если стальной зонд длиной 12 м вибрировали с частотой 27 гц в отложениях вынутаго песка. Глубина зондирования составила 7 м. Использовался вибратор müller ms 200 hf (центробежная сила: 4000 кн, макс. Эксцентриковый момент: 1900 нм) с переменной частотой (0–30 гц). Геофоны устанавливались на разном расстоянии от сваи. На рис. 1 показаны горизонтальные колебания грунта (скорость в зависимости от времени), измеренные четырьмя сейсмоприемниками, расположенными на расстоянии 3 м от сваи – на поверхности земли и на глубинах 1.65, 3.55 и 5.05 м. Видно, что скорость вибрации примерно одинакова на всех уровнях (это свидетельствует о том, что источником вибраций является вертикально колеблющийся зонд). Они проявляются как горизонтально колеблющееся волновое поле, в котором накапливаются горизонтальные напряжения в результате непрерывного циклического нагружения. Пульсирующие горизонтальные напряжения достигают своего максимума в конце каждого нисходящего (и восходящего) цикла. Почва отталкивается от колеблющегося зонда, который сжимается по горизонтали, соответственно и горизонтальные вибрации – и они могут быть довольно сильными. Они проявляются как горизонтально колеблющееся волновое поле, в котором накапливаются горизонтальные напряжения в результате непрерывного циклического нагружения. Пульсирующие горизонтальные напряжения достигают своего максимума в конце каждого нисходящего (и восходящего) цикла. Почва отталкивается от колеблющегося зонда, который сжимается по горизонтали,

строит- но и горизонтальные вибрации – и они могут быть довольно сильными. Они проявляются как горизонтально колеблющееся волновое поле, в котором накапливаются горизонтальные напряжения в результате непрерывного циклического нагружения. Пульсирующие горизонтальные напряжения достигают своего максимума в конце каждого нисходящего (и восходящего) цикла.

При вибрационном погружении в крупнозернистый грунт сопротивление ствола сваи будет уменьшаться за счет горизонтально колеблющегося поля напряжений. Горизонтальные напряжения направлены от сваи и могут вызвать выгибание в цилиндрической зоне, окружающей сваю. Однако этот эффект выгибания исчезнет, если сваи будут установлены в группу, поскольку каждая забитая свая будет «нарушать» эффект выгиба, который образовался вокруг ранее забитой сваи. Более того, наблюдения в проектах по уплотнению грунта показали, что горизонтальные напряжения с течением времени сравниваются со средним значением. Поэтому трудно оценить сопротивление ствола виброзабивной сваи.

Горизонтальные колебания грунта также важны при использовании зондов или свай для глубокого вибрационного уплотнения крупнозернистого грунта. Основной целью является повышение жесткости и прочности грунта. Однако, как указано выше, вибрационное уплотнение приводит к постоянному увеличению горизонтальных напряжений. Увеличение поперечного эффективного напряжения после вибрационного уплотнения измерялось с помощью приборов для полевых исследований, таких как измерители давления [2], дилатометры [3] и конические пенетрометры [4].

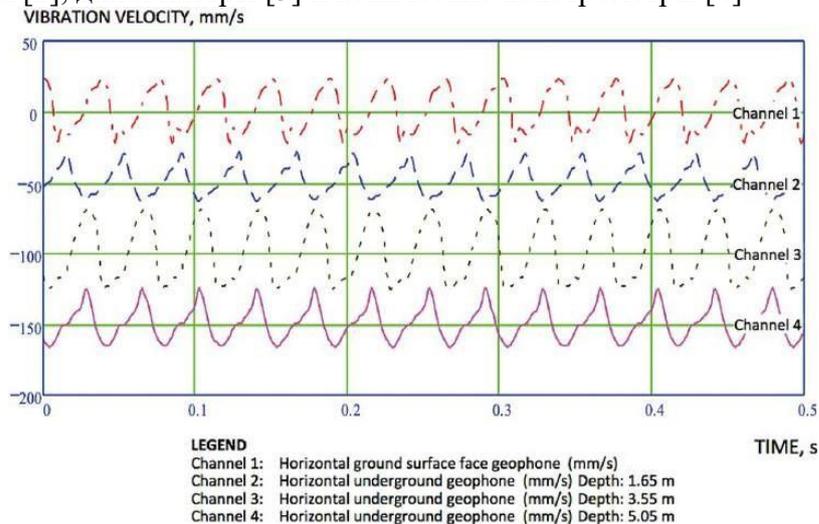


рис. 1. Горизонтальные колебания грунта, измеренные на расстоянии 3 м от уплотняющего зонда, колеблющегося с частотой 27 гц; глубина проникновения сваи 7 м, взято из [1]

Постоянное увеличение горизонтального напряжения за счет вибрационного уплотнения поверхностными катками было исследовано, где описано значительное увеличение горизонтального напряжения (вплоть до пассивного напряжения грунта). Исследователи разработали истерическую модель мультициклической k_0 -нагрузки, которую можно использовать для прогнозирования увеличения эффективное напряжение. Они пришли к выводу, что уплотнение представляет собой форму предварительного уплотнения, аналогичного применению и удалению поверхностного статического добавочного напряжения.

Одним из важных параметров, влияющих на сопротивление проникновению при забивке свай и виброуплотнении, является рабочая частота вибратора. Опыт большого количества проектов по уплотнению грунта, особенно там, где использовалась система резонансного уплотнения, демонстрирует важность частоты вибрации при уплотнении

крупнозернистого грунта. Для теоретического анализа взаимодействия вертикально колеблющегося элемента в упругой среде, использовали систему с двумя степенями свободы (2dof). Масса сваи m_p взаимодействует с окружающим грунтом m_s через пружины k_t и k_m и

демпферы dt и dm . Отметим, однако, что целью данного анализа было изучение взаимодействия свая с грунтом в резонансе, т. е. когда свая вибрирует в фазе с окружающим грунтом, и что эта модель не применима к фазе проникновения сваи (упругопластические условия). Во время проникновения сваи применяются различные условия.

Сопротивление грунта вдоль сваи складывается из двух составляющих: сопротивление ствола сваи и сопротивление подошвы сваи. Система, обозначенная буквой «р», моделирует контакт грунта со свайей. Система, обозначенная буквой «s», моделирует грунт, лежащий дальше, но все же участвующий в динамическом воздействии. Свая считается жесткой, поскольку модуль сдвига стального или бетонного элемента намного выше, чем у грунта (примерно в 10^3 раз). Общее сопротивление между грунтом и свайей (пружиной k_p и демпфером d_p) состоит из суммы сопротивлений ствола (оболочки) и носка k_m и k_t соответственно. Вертикальные перемещения сваи и грунта обозначаются u_p и u_s соответственно (рис. 2).

Во время фазы проникновения свая перемещается относительно грунта, и грунт на границе сваи находится в пластическом состоянии (разрушение, т.е. пластическое состояние, по определению требуется для проникновения сваи в грунт).

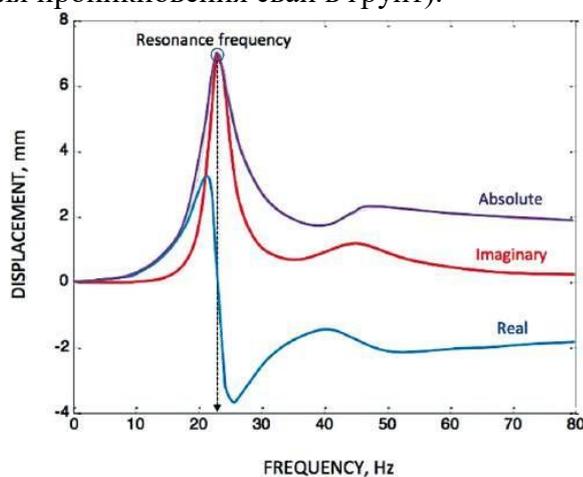


Рис. 2. Зависимость амплитуды смещения сваи от частоты; резонанс возникает на частоте 23 гц с коэффициентом усиления около семи для абсолютной амплитуды на резонансной частоте

Несколько параметров, при этом скорость поперечной волны (и, следовательно, модуль сдвига) является одним из наиболее важных. Для большинства практических применений скорость поперечной волны невозмущенного песка средней плотности находится в диапазоне от 150 до 250 м/с. Однако при наличии смежных сильных колебаний грунта скорость поперечной волны может уменьшиться из-за эффектов смягчения деформации. В большинстве случаев резонансная частота находится в диапазоне от 15 до 25 гц и уменьшается с увеличением длины сваи (и отношения массы вибратора к массе сваи). Обратите внимание, что эксцентриковый момент не влияет на резонансную частоту.

Хотя теоретический анализ, представленный выше, основан на упрощенной одномерной модели, он охватывает важные аспекты вибрационного погружения свай и шпунтовых свай в грунт. Важным аспектом забивки (или извлечения) вибрационной сваи (или шпунта) является то, что при резонансе или близком к нему скорость проникновения сваи резко замедляется, поскольку грунт и свая (шпунт) вибрируют синхронно.

Этот аспект используется в случае резонансного уплотнения. Тем самым можно сделать следующие основные выводы:

- Явный резонансный пик, при котором колебания сваи и грунта очень сильны, возникает во время вибрационной забивки.
- Вертикальные колебания грунта достигают максимума на резонансной частоте системы вибратор-свая-грунт.

– При резонансе (и ниже) относительное перемещение между свай и грунтом мало, что приводит к почти статическому взаимодействию свай с грунтом, и одним из наиболее важных параметров, влияющих на резонансную частоту, является скорость поперечной волны грунта.

Большое развитие в конструкции вибратора произошло с введением ступенчатой адаптации эксцентрикового момента в соответствии с конкретными требованиями к вождению. Такое изменение эксцентрикового момента производится вручную путем добавления или удаления грузов.

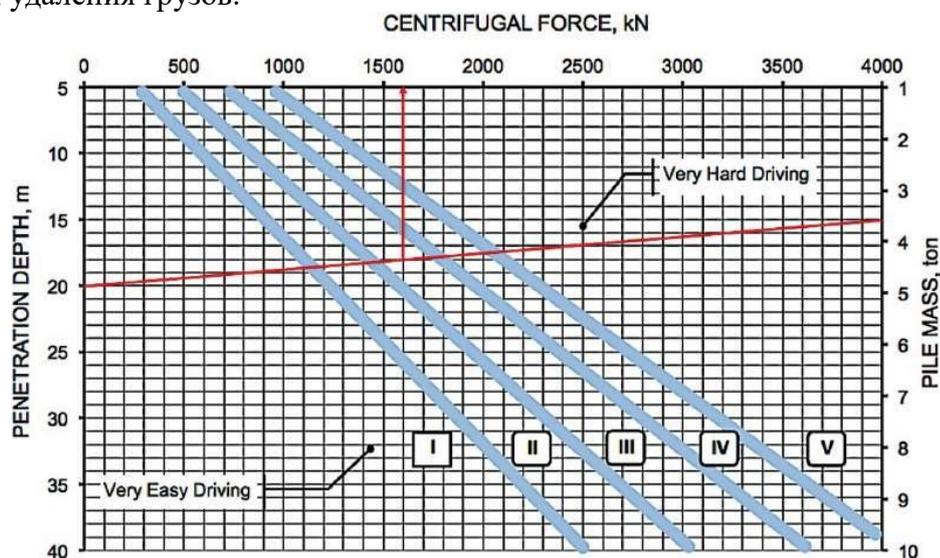


Рис. 3. Зависимость между центробежной силой вибратора, массой свай и глубиной проникновения в зависимости от жесткости грунта. Обратите внимание, что эта диаграмма относится к шпунтовым сваям, забиваемым в сыпучий грунт

По сравнению с ударным забиванием сопротивление вала вдоль свай при вибрационном забивании принципиально иное. В крупнозернистых грунтах вибрация ствола свай создает колебательное волновое поле, которое создает горизонтальные напряжения, направленные от ствола свай. Это пульсирующее волновое поле вызывает уменьшение горизонтального напряжения, действующего вдоль ствола свай, и может объяснить, почему вибрационная забивка свай и шпунтовых свай эффективна в крупнозернистых грунтах.

Колебания горизонтального напряжения также вызывают постоянное увеличение горизонтальных эффективных напряжений и, таким образом, предварительное уплотнение грунта, прилегающего к свае. Этот эффект важен для вибрационного уплотнения крупнозернистых грунтов, но обычно не принимается во внимание. В мелкозернистых грунтах важно, чтобы амплитуда смещения шпунтовой свай (и эксцентриковый момент вибратора) была достаточно большой для преодоления сопротивления сцепления вдоль свай.

Взаимодействие вибратор-свая-грунт является функцией рабочей частоты по отношению к резонансной частоте колебаний системы вибратор-свая-грунт.

Наиболее важными параметрами, определяющими резонансную частоту, являются жесткость (скорость поперечной волны) грунта и масса вибратора и шпунтовой свай. Эксцентриковый момент не влияет на резонансную частоту (рис. 3)

При резонансе шпунтовая свая колеблется синхронно с окружающим грунтом, т.е. между ворсом и почвой очень мало расстояния. Вдоль границы свая-грунт существует статическое трение, которое усиливает передачу энергии вибрации в грунт. Этот эффект полезен при виброуплотнении, но снижает скорость проникновения и может вызвать проблемы с вибрацией при установке свай или шпунтовых свай. С увеличением частоты вибрации увеличивается относительное смещение между свай и грунтом, что приводит к

уменьшению трения вала. Следовательно, сваи следует вибрировать с частотой, по крайней мере, в 1,5 раза превышающей резонансную частоту системы, чтобы добиться эффективного заглубления сваи и минимизировать выбросы вибрации.

Эффект вибрационного уплотнения может быть усилен за счет работы вибратора на резонансной частоте системы вибратор-зонд-грунт. Эта концепция используется в методе резонансного уплотнения. При резонансе вертикальная скорость колебаний примерно в 5-10 раз больше, чем при максимальной частоте колебаний. Горизонтальные вибрации грунта значительно ниже.

Эмпирические правила можно использовать для оценки требуемой мощности вибратора (центробежной силы) для забивки шпунтовых свай в зернистом грунте. Однако более надежной концепцией является прогнозирование проходимости свай или шпунтовых свай на основе полевых испытаний.

Список использованных источников

1. Горохов, В. А. основы технологии машиностроения. Лабораторный практикум: учебное пособие / В. А. Горохов, Н. В. Беляков, Ю. Е. Махаринский. - м.: инфра-м, 2016. - 688 с.
2. Зубарев, Ю. М. динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин: учебное пособие / Ю. М. Зубарев. - спб.: лань, 2018. - 212 с.
3. Иванов, А. С. курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие / А. С. Иванов, П. А. Давыденко, Н. П. Шамов. - м.: иц риор, ниц инфра-м, 2012. - 280 с.
4. Иванов, А. С. курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие / А. С. Иванов, П. А. Давыденко, Н. П. Шамов. - м.: риор, 2017. - 512 с.
5. Ильянков, А. И. основные термины, понятия и определения в технологии машиностроения: справочник: учебное пособие / А. И. Ильянков. - м.: академия, 2018. - 288 с.
6. Ильянков, А. И. основные термины, понятия и определения в технологии машиностроения: справочник / А. И. Ильянков. - м.: academia, 2015. - 32 с.