

УДК 625.21

Ю.П. Смолин, В.Н. Белобородов

Воздействие колебаний на близкорасположенные гражданские здания при погружении свай

В городской застройке нередко приходится погружать сваи на близком расстоянии от фундаментов существующих сооружений. В нормах ВСН 490–87 указаны пределы ускорения колебаний, при которых необходимо осуществлять контроль за деформацией фундаментов при погружении свай.

В статье приведены методы оценки воздействия на сооружения при забивке свай ударным способом и с помощью вибратора. Одновременный замер динамики в помещениях, наличие оперативной связи с машинистом копра и сравнение с предельными значениями ускорений по нормам дает возможность оценивать и регулировать процесс погружения свай на строительной площадке.

Для погружения свай и шпунтов в песчаных и слабых водонасыщенных грунтах часто используют вибропогружатели. Замеренная частота от воздействия вибропогружателя при погружении свай в несущих конструкциях близкорасположенных зданий составляет примерно от 9 до 12 Гц. Такая частота вибрации вызывает, с одной стороны, резонанс в несущих конструкциях здания, а с другой стороны, является источником инфразвука, влияющего на нервную и сердечно-сосудистую систему человека, находящегося в помещении. Фиксация колебаний от вибропогружателя в жилых помещениях дает возможность оценивать уровни колебаний от переизлученного шума.

Ключевые слова: динамическое воздействие на сооружение при забивке свай, гидравлический молот, вибропогружатель, инфразвук, акселерометр, осциллограмма.

Вопросы сейсмостойкости и сохранности зданий остаются и по сей день актуальными [1, 2]. Это обусловлено целым рядом причин. С одной стороны, природными факторами (например, мало поддающиеся прогнозированию землетрясения), а с другой – техногенными (например, горные удары, забивка свай или постоянное воздействие вибрации от городского транспорта).

Для оценки возможных повреждений необходимо точно знать уровень воздействующих на здание вибрационных нагрузок. Когда речь идет о природных факторах, то возможен только прогноз. Но при использовании вибрационных и ударных строительных механизмов наиболее надежным является прямое измерение вибраций самих конструкций здания.

Существует отечественная методика приближенной теоретической оценки уровней вибрации на различных расстояниях от копра при забивке свай. Однако свойства грунтов слишком различаются, чтобы была возможна точная количественная оценка этих величин. В строительных нормах ВСН 490–87 [3], разработанных институтом «Фундаментпроект», даны верхние пределы ускорений колебаний при забивке свай в зависимости от вида грунта и конструктивных особенностей зданий и сооружений. В ВСН сказано, что если расстояние от забиваемой сваи до сооружения

больше радиуса зоны воздействия, то в этом случае допускается не производить расчета ожидаемых деформаций оснований фундаментов рядом расположенных зданий и сооружений. Таким радиусом для капитальных зданий является расстояние примерно в 30 м. При меньших расстояниях до существующих сооружений, а также в случаях, когда имеются сомнения в надежности и сейсмостойкости объекта, необходимо на стадии проектирования свайных фундаментов произвести измерения ускорений колебаний грунтов и фундаментов в ходе погружения пробных свай при наименьшем расстоянии от близко расположенных сооружений. Замеренные ускорения сравниваются с допустимыми ускорениями (скоростями). В случае если параметры колебаний будут больше допустимых, необходимо подобрать молот с меньшими динамическими воздействиями.

Измерение параметров колебаний грунтов и фундаментов также необходимо, когда в здании имеется особо чувствительное к вибрации оборудование, например прецизионное.

Следует отметить, что требования к аппаратуре для регистрации техногенных воздействий несколько иные, чем для регистрации землетрясений [4–6]. Это связано с более высокими частотами колебаний. При естественных землетрясениях преобладающие частоты лежат в диапазоне от долей герца до

десятков герц. При техногенных воздействиях этот диапазон составляет от нескольких единиц до сотен герц. В связи с этим невозможно прямое сопоставление балльной шкалы сейсмостойкости при землетрясениях с нормами виброускорений при забивке свай. При вибрации с более высокими частотами при тех же уровнях ускорений колебания вызывают гораздо меньшие перемещения.

Авторами было проведено большое количество исследований параметров колебаний при забивке свай [7] с большими и меньшими расстояниями до существующих зданий, чем указаны в ВСН [3].

В задачу исследований входила оценка воздействия колебаний на сооружения, которые могут быть подвержены воздействию динамики при забивке свай. Эти исследования проводились по просьбе строителей в связи с беспокойством жителей близко расположенных зданий о возможном их повреждении.

Точки замеров выбирались самые неблагоприятные, в которых могут возникать максимальные уровни колебаний. Замерялись колебания вблизи отмонок зданий, на фундаментах и на верхних этажах в максимальной близости к источнику колебаний. При

регистрации колебаний применялась аппаратура, позволяющая замерять параметры колебаний с минимальным искажением. В качестве преобразователя величины ускорения в электрический сигнал использовались высокочувствительные пьезоэлектрические акселерометры с антивибрационным кабелем и зарядовым усилителем. Иногда для той же цели использовались акселерометры со встроенным предусилителем в интегральном исполнении. Электрический сигнал с акселерометров оцифровывался 12-разрядным аналого-цифровым преобразователем L-Card и записывался в память ноутбука.

Используемый комплект из датчиков, усилителей и системы сбора данных обеспечивал качественную регистрацию сигналов малой амплитуды ускорений ($0,02 \text{ м/с}^2$) и имел полосу регистрируемых частот от 1 Гц до 1 кГц. В процессе работы выяснилось, что спектральный состав регистрируемых при забивке свай сигналов не выходит за пределы 5...100 Гц (рис. 1).

Цифровой способ получения данных существенно упрощает дальнейшую обработку записанного сигнала с помощью многих распространенных пакетов программ. Производится получение спектров, фильтрация сиг-

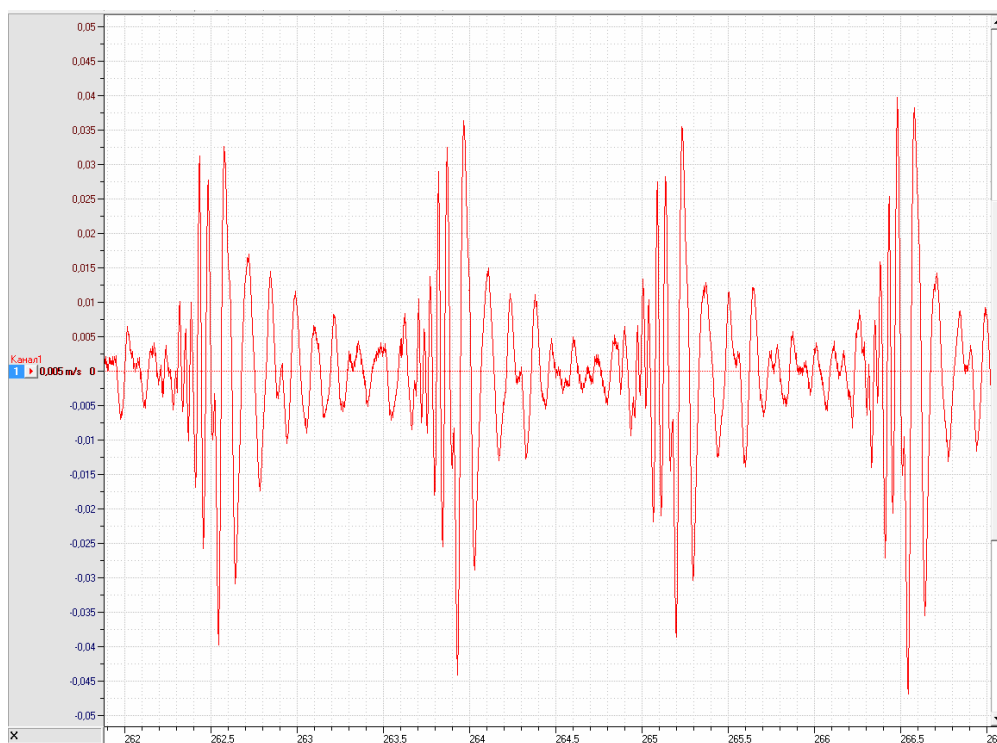


Рис. 1. Типичная оциллограмма ускорений колебаний на первом этаже здания при забивке свай молотом

нала, перевод величин ускорения в соответствующие значения виброскорости и виброперемещений.

Весьма существенное значение имеет способ крепления акселерометров. Датчики ускорения, согласно рекомендациям ВСН, следует располагать на жестких несущих конструкциях, причем способ крепления должен обеспечивать высокую жесткость контакта. Авторами чаще всего использовалась мастика на восковой основе, которой датчики приклеивались на кафельный пол в санузлах, на бетонный пол у несущих стен на лестничных площадках подъездов, на хорошо закрепленные каменные подоконники.

Следует отметить еще несколько специфических особенностей регистрации колебаний при забивке свай:

- амплитуды колебаний на верхних этажах и внизу, вблизи фундаментов, могут заметно отличаться, причем наверху они часто оказываются больше. Это вынуждает всегда производить замеры как на нижних, так и на верхних этажах;

- обязательна запись всего процесса забивания свай с последующим выбором фрагментов наибольшей амплитуды;

- опыт показывает, что даже в пределах одного ряда свайного поля бывает существенный разброс величин сейсмических амплитуд от разных свай, поэтому при испытаниях очень желательно забивать не менее двух-трех свай, наиболее близких к объекту.

В последнее время в нашей стране и за рубежом стали применять гидравлические молоты, с помощью которых при погружении свай можно менять энергию удара от 2 до 58 кДж. Меняя энергию удара при погружении свай, можно отказаться от пробных свай, а динамическое воздействие на близлежащие сооружения устанавливать непосредственно при строительстве объекта.

В Новосибирске для погружения свай применяют гидравлические молоты «РОПАТ». При максимальной энергии удара частота составляет 60 ударов в минуту, а при минимальной – 240. Эти молоты все больше и больше вытесняют со строек дизельные молоты. Это связано в том числе и с возможностью регулировать динамические параметры,

воздействующие на близкорасположенные эксплуатируемые объекты.

Применение молота «РОПАТ» позволяет забивать сваи даже в непосредственной близости от существующего здания. Таким примером можно назвать погружение свай для строительства жилых домов по улицам Залесского и Обская. Как в первом, так и во втором случаях дома пристраивались к существующим жилым домам. Расстояние забиваемых свай от стен зданий составляло 1 м (рис. 2).



Рис. 2. Погружение свай гидравлическим молотом «РОПАТ» в непосредственной близости от существующего здания

Проведенные замеры параметров колебаний в зданиях при забивке свай молотом «РОПАТ» с одновременным замером динамики позволяют сделать вывод, что при наличии оперативной связи с машинистом копра и сравнении с предельными значениями ускорений по нормам [3] имеется возможность оценивать и регулировать процесс погружения свай в реальном времени. Это позволяет забивать сваи значительно ближе к существующим постройкам, чем указывается в ВСН 490–87.

Наряду с дизельными и гидравлическими молотами для погружения свай и шпунтов на стройках Новосибирска находят применение вибропогружатели (рис. 3).

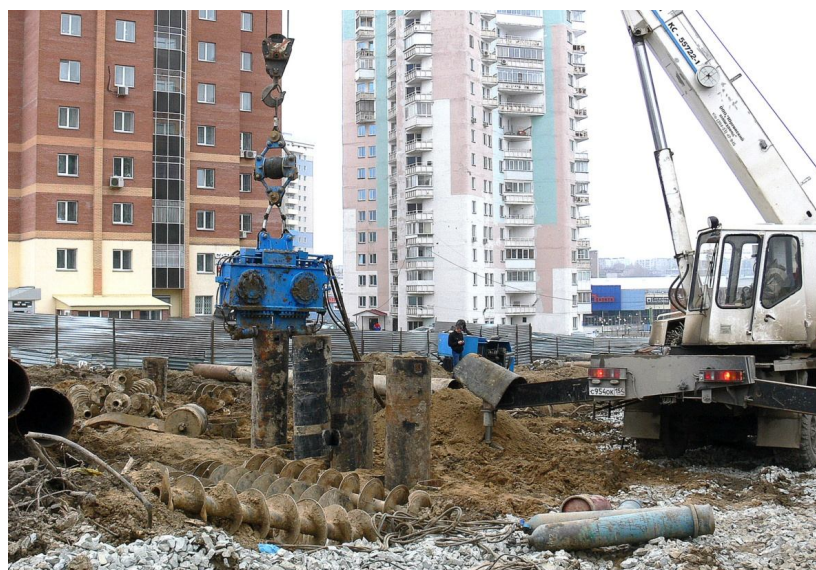


Рис. 3. Погружение свай с помощью вибратора

При вибрации сваи и шпунты в песчаных и водонасыщенных грунтах погружаются быстрее, чем при забивке молотом, кроме того, ускорения колебаний несущих конструкций зданий ниже, чем при забивке свай, что подтверждается инструментальными замерами.

При использовании вибратора для погружения свай и шпунтов в ненесущих конструкциях, таких как межквартирные перегородки, возникают внутренние резонансы, и в таких легких конструкциях появляются трещины [8].

Кроме того, вибраторы при погружении свай и шпунтов являются источником возникновения инфразвука от переизлученного

шума [9–11]. При замерах в жилых домах датчиками были зафиксированы колебания с преобладающими частотами 9...12 Гц (рис. 4). Расстояние до вибратора составляло 25 м.

Область таких частот относится к инфразвуку. Инфразвук вызывает нервное перенапряжение, влияет на нервную и сердечно-сосудистую систему.

В беседе жильцы домов, рядом с которыми производилось погружение свай вибраторами, отмечали, что у них появлялось необычное неприятное ощущение.

Инфразвук передается на большие расстояния, поэтому погружение свай вибратором

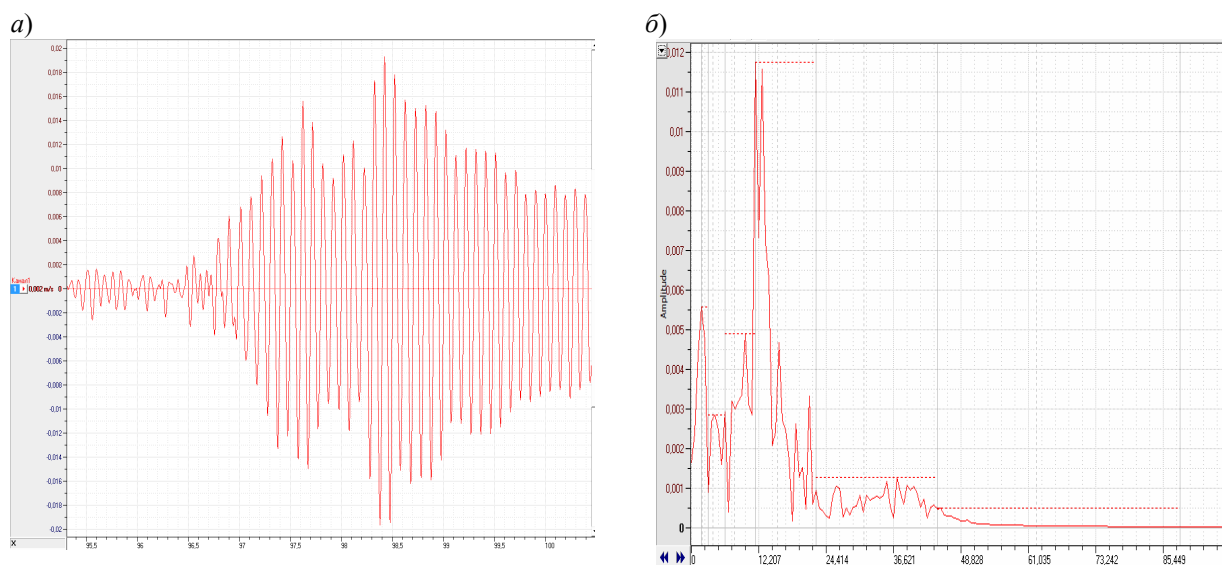


Рис. 4. Запись в квартире на бетонном полу первого этажа при погружении свай вибратором:
а – осциллограмма; б – амплитудно-частотный спектр

ром будет отрицательно действовать на человека при расстоянии более 30 м, как это сказано в санитарных нормах [5].

Таким образом, замер параметров колебаний при погружении свай вибратором позво-

ляет оценивать не только опасность колебаний для несущих и ненесущих конструкций, но и наличие инфразвука, представляющего опасность для присутствующих в помещениях людей с точки зрения санитарных норм.

Библиографический список

1. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85. М., 2011. 130 с.
2. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*. М., 2011. 160 с.
3. ВСН 490–87. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки. М., 1988. 19 с.
4. ГОСТ Р 52892–2007. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. М., 2008. 32 с.
5. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы / Минздрав России. М., 1997. 20 с.
6. МГСН 2.04–97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях. М., 1997. 20 с.
7. Смолин Ю.П., Белобородов В.Н. Исследование динамических воздействий при забивке свай на близкорасположенные сооружения // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 6. С. 117–121.
8. Курбатский Е.Н. Использование теоремы взаимности для оценки уровней вибрации поверхности упругого полупространства от точечного источника, расположенного внутри полупространства // Вестник МИИТа. 2004. Вып. 2. С. 93–104.
9. Титов Е.Ю. Разработка методов оценки и способов снижения уровней вибраций сооружений вблизи метрополитенов и железнодорожных трасс: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 134 с.
10. Сокол Г.И. Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот. Днепропетровск: Проминь, 2000. 143 с.
11. Вознесенский Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1997. 288 с.

Y.P. Smolin, V.N. Beloborodov

The impact of piling vibrations on the nearby nonindustrial buildings

Abstract. Urban development often implies the piling at close distance from the foundations of already constructed buildings. The regulatory requirements VSN 490-87 stipulate the limit of the acceleration of vibrations, at which it is necessary to monitor the deformation of foundations caused by piling. The methods of evaluation of the impact on the nearby buildings caused by the percussion piling and vibratory pile driving are suggested. The simultaneous parametering of vibration in the buildings together with the on-line communication with a pile driver and the monitoring of the threshold values of accelerations according to the norms allows to evaluate and regulate the process of piling at the construction site.

The piling on the sandy and soft, water-saturated soils necessitates the use of vibratory pile drivers. The measured piling vibration frequency in closely located buildings is from 9 to 12 Hz. This vibration frequency is, on the one hand, causes the resonance in the load carrying structure of a building and, on the other hand, is a source of infrasound, affecting the nervous and cardiovascular system of a person in the building. Recording the vibrations in the accommodation, caused by a vibratory pile drivers operation, makes it possible to estimate the levels of fluctuation of excessive noise.

Key words: *dynamic loading on the building at piling; hydraulic hammer; vibratory pile driver; infrasound; accelerometer; oscillogram.*

Смолин Юрий Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Геология, основания и фундаменты» СГУПС. E-mail: yuij.smolin@bk.ru

Белобородов Василий Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИГД СО РАН.