



Osnovaniya, fundamrnty i mekhanika gruntov [Soil Mechanics and Foundation Engeneering]. – 1969. – № 3. – P. 27–30.

5. Chernov V. K., Znamensky V. V., Yurko Yu. P. O deformatsiyakh glinistykh gruntov vokrug zabivnykh svay [About deformations of clay soils around driven piles] / Stroitelstvo v rayonakh Vostochnoy Sibiri i kraynego severa / Proektny i nauchno-issledovatel'skiy institute Krasnoyarskiy PromstroyNIPProekt. – Krasnoyarsk, 1971. Issue 17. – P. 59–66.

6. Bartolomey A. A. Izmenenie modulya deformatsii, obyomnogo vesa i sil stsepleniya glinistykh gruntov v aktivnoy zone svaynykh fundamentov [Changes in the modulus of deformation, volumetric weight and adhesion forces of clay soils in the active zone of pile foundations] / Voprosy sovershenstvovaniya stroitelstva / Permskiy politekhnicheskiy institut. – Perm, 1972. – P. 8–15.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2022

Получено: 14.03.2022 г.

УДК 624.131.55

О. Б. КОНДРАШКИН, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии строительства; **Д. Н. ХОХЛОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры гидротехнических и транспортных сооружений

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНОГО ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ЗАСТРОЙКУ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35;
факс: (831) 430-03-82; эл. почта: gs@nngasu.ru

Ключевые слова: влияние строительства на окружающую застройку, вибрация при погружении свай, виброскорость, моделирование.

Описан опыт и результаты компьютерного моделирования динамического воздействия, оказываемого на окружающую застройку ударным погружением свай копровой установкой.

При проектировании зданий и сооружений согласно [1] и др. нормативным документам следует выполнять оценку влияния строительства на окружающую застройку, в том числе с учетом динамических воздействий строительных работ. В ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» была выполнена оценка влияния ударного погружения свай при строительстве на окружающую застройку в городе Чебоксары. Объектом оценки являлось производственное здание ООО «Чебоксарский ликероводочный завод» 1899 г. постройки, являющееся объектом культурного наследия регионального значения. Вблизи него (на расстоянии 41 м) в 2017 г. выполнялось строительство административного здания со свайным фундаментом. Предметом оценки был уровень виброскорости, возникающей на несущих конструкциях производственного здания при ударном погружении свай.

Конструктивная схема производственного здания (объекта оценки) – неполный каркас с наружными и внутренними несущими кирпичными стенами. Каркас представляет собой кирпичные и металлические колонны (столбы, стойки) с опи-

ранием на них перекрытия. Фундаменты здания: ленточный из фундаментных бетонных блоков с песчаной подушкой; ленточный из кирпичной кладки в верхней части и бутовый в нижней части; столбчатый под колоннами из кирпича. Несущие и самонесущие наружные и внутренние стены из кирпича, толщиной 640 мм. В геологическом отношении основание участка сложено техногенными насыпными грунтами, залегающими до глубины 2 м, ниже – суглинками полутвердыми и лесовидными, просадочными слоем 2–3 м, далее – глиной легкой, твердой, мергелем. Техническое состояние строительных конструкций здания оценивалось (при выполненном ранее обследовании) как ограниченно работоспособное.

При строительстве административного здания выполнялось ударное погружение железобетонных свай сечением 300×300 мм на глубину от 5,5 до 6,5 м со дна котлована глубиной от 3 до 4 м. Сваи погружались копровой установкой СП-6ВМ с массой ударной части молота 2,5 т, высота подъема молота составляла 2 м, энергия удара копровой установки – 37,6 кДж. Строительство привело к возникновению дефектов производственного здания – раскрытию существующих трещин и появлению новых. Непосредственно в период погружения свай – изменение виброскорости.

Оценка уровня виброскорости на несущих конструкциях здания в период ударного погружения свай выполнена методом компьютерного моделирования в динамическом модуле программы *Plaxis*. Методика моделирования ударного погружения свай и распространения колебаний в грунте не новая и принята согласно описанной в [2–5]. Расчетная модель участка принята осесимметричной, с источником колебаний – сваем по оси, разбита на кластеры с различными моделями поведения грунта и упругих материалов. Свая и фундаменты производственного здания задавались кластерами с линейно упругим поведением (*Linear elastic model*) с физическими характеристиками бетона. Грунты моделируются кластерами с упругопластическим поведением (*Mohr-Coulomb model*). Взаимодействие сваи и окружающего грунта моделируется интерфейсными элементами, учитывающими снижение трения на границе сваи и грунта. На нижней и крайней правой сторонах модели заданы поглощающие волны границы для исключения отражения волн [5]. Модель приведена на рис. 1.

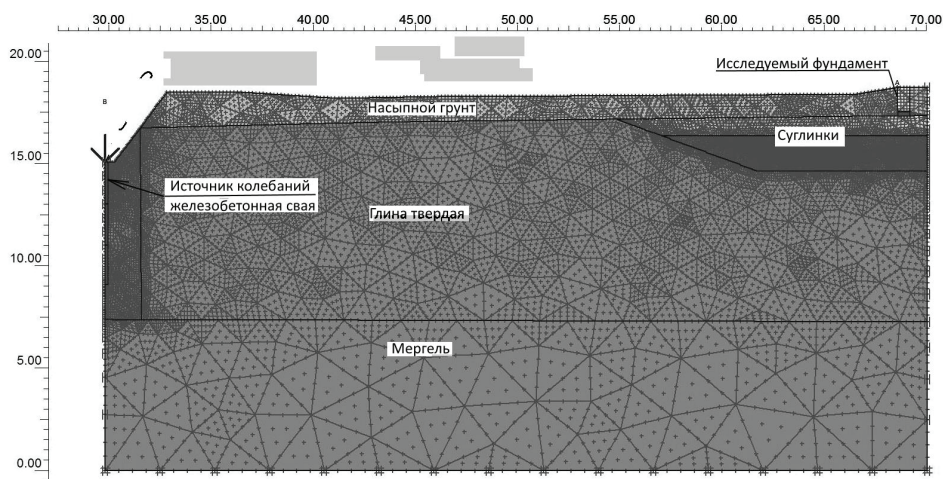


Рис. 1. Модель участка распространения колебаний грунта



Физико-механические характеристики грунтов приняты по результатам инженерно-геологических изысканий (таблица). Динамические свойства грунтов – коэффициенты пропорциональности по Рэлею α и β – приняты по рекомендациям [6] и уточнены по результатам натурального эксперимента. Натурный эксперимент заключался в проведении на участке ударного воздействия на грунт путем погружения сваи малогабаритной копровой установкой. При ударе определялись параметры колебания грунта (виброскорости) на различном расстоянии от источника колебаний при помощи многоканального виброанализатора. По результатам измерений и при известных параметрах динамического воздействия обратным пересчетом на компьютерной модели в программном комплексе *Plaxis* уточнялись динамические свойства грунтов основания участка. Подобный подход предлагается в [7].

Физико-механические характеристики грунтов основания

Номер ИГЭ	Наименование ИГЭ	Расчетные характеристики при $\alpha = 0,85/0,95$			E , МПа
		c , кПа	φ , градус	ρ , г/см ³	
1	Насыпной слой	$R_0 = 80$ кПа			
2	Суглинок полутвердый (dIII-IV, prIII)	$\frac{15^*}{10}$	$\frac{16}{14}$	1,95	9
3	Мергель (P3t)	$\frac{34}{32}$	$\frac{25}{24}$	$\frac{2,01}{1,99}$	15
4	Глина твердая (P3t)	$\frac{47}{31}$	$\frac{18}{16}$	$\frac{1,94}{1,93}$	12

* Примечание: над чертой приведены значения характеристик грунтов при природной влажности, под чертой – при водонасыщении.

Удар молота моделируется динамической нагрузкой – сосредоточенной силой, изменяемой во времени. Напряжение в однородной по материалу свае при ударе по ней молота свайного копра массой M , кг, падающего с высоты h , м, может быть определено по формулам 1–4 [8].

Определяется напряжение в свае $\sigma_{ст}$ и ее просадка $\Delta z_{ст}$ при статической нагрузке (от веса молота, лежащего на ней) по формулам (1) и (2):

$$\sigma_{ст} = -\frac{Mg}{F}, \quad (1)$$

$$\Delta z_{ст} = \frac{l}{E} |\sigma_{ст}| = \frac{l}{E} \frac{Mg}{F}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала сваи, МПа; F – площадь поперечного сечения сваи, м²; l – длина сваи, м; m – масса сваи, кг.

Далее определяется коэффициент динамичности κ_d по формуле (3) и максимальное динамическое напряжение в свае при ударе молота о сваю по формуле (4):

$$\kappa_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{1 + \frac{m}{3M}}{\left(1 + \frac{m}{2M}\right)^2} \frac{2h}{\Delta z_{ст}}}, \quad (3)$$

$$\sigma_{ст} = \kappa_d \sigma_{ст}. \quad (4)$$

Время действия удара оправляется временем соударения сваи и молота, временем прохождения звуковой волны в прямом и обратном направлении по формуле (5):

$$t = \frac{2l}{c_b}, \quad (5)$$

где c_b – скорость распространения звуковой волны в свае, м/с.

Расчеты параметров вибрации (пиковых значений виброскоростей) выполнялись с целью сравнения полученных результатов с предельными значениями, определяемыми из нормативной документации, использовались следующие:

– согласно [6] и [9] при частоте колебаний не более 10 Гц для сооружений, имеющих высокую социальную важность (например, охраняемых памятников архитектуры), пиковое значение скорости не должно превышать 0,3 см/с;

– согласно [6] допустимое значение виброскорости для исторических кирпичных зданий, на сплошном фундаменте, на глинистом основании при ударной забивке свай на расстоянии от 5 до 200 м составляет 0,32 см/с;

– согласно [10] при II классе ответственности (нормальном уровне ответственности) при твердых, полутвердых и тугопластичных суглинках и глинах в основании, при наличии трещин до 5 мм в строительных конструкциях допустимая скорость колебаний грунта 1 см/с.

В результате моделирования получен график изменения виброскорости колебаний с течением времени на фундаменте производственного здания, возникающих от ударного погружения сваи (рис. 2), ее максимальное значение составляет 0,7 см/с. Из результатов расчетов видно, что для большинства принятых критериев оценки допустимости колебаний расчетные значения виброскоростей превосходят нормативные значения более чем в 2 раза.

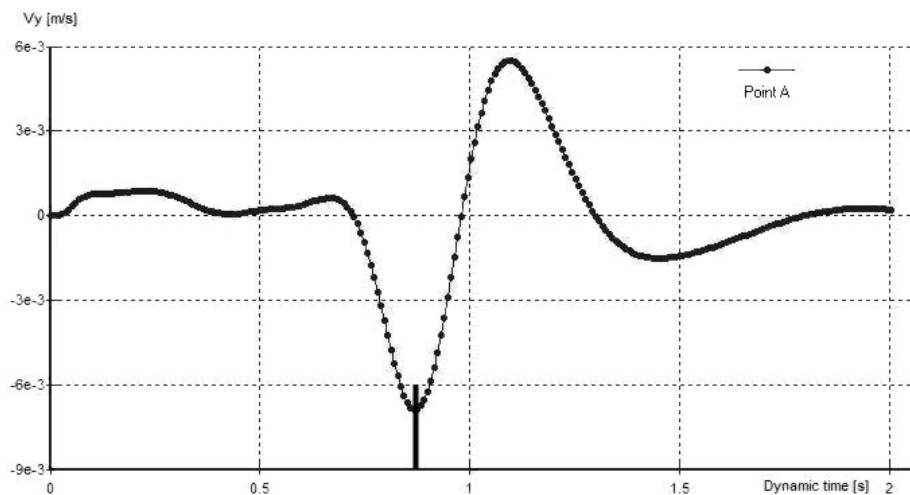


Рис. 2. График изменения виброскорости колебаний с течением времени на фундаменте производственного здания при ударном погружении свай

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о наличии риска повреждений строительных конструкций производственного здания в результате вибрационных воздействий, вызванных ударным погружением свай на прилегающих участках.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 970/пр : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* : дата введения 01 июля 2017 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054206>. – Текст : электронный.
2. Вешняков, В. А. Данные мониторинга и прогноз колебаний грунта при ударном погружении свай / В. А. Вешняков, А. Л. Невзоров. – Текст : электронный // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2012. – № 1. – URL: <https://docplayer.com/66183840-Dannye-monitoringa-i-prognoz-kolebaniy-grunta-pri-udarnom-pogruzhении-svay.html>.
3. Decker F. Ground vibrations due to pile and sheet pile driving – influencing factors, predictions and measurements. Division of Soil and Rock Mechanics Department of Civil and Architectural Engineering School of Architecture and the Built Environment / Decker F.; KTH Royal Institute of Technology. Stockholm. 2013.
4. Khoubani A. Numerical study of ground vibration due to impact pile driving / A. Khoubani, M. Mehdi Ahmadi // Article in Geotechnical Engineering. – 2014. – February.
5. PLAXIS Versions. Scientific Material models Dynamic manual / R. B. Y. Brink-qreve, W. Broere / Delft University of Technology Plaxis b.v. – The Netherlands, 2004.
6. СП 465.1325800.2019. Здания и сооружения. Защита от вибрации метрополитена : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 2 декабря 2019 г. № 756/пр : дата введения 3 июня 2020. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564542930>. – Текст : электронный.
7. Руководство по проектированию фундаментов машин с динамическими нагрузками / Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н. М. Герсеванова. – Москва : Стройиздат, 1982. – 207 с. – Текст : непосредственный.
8. Челомей, В. Н. Вибрации в технике : справочник : в 6 томах / В. Н. Челомей. – Москва : Машиностроение, 1978. – 6 томов.
9. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 586-ст : введен впервые : дата введения 2008-10-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200064161>. – Текст : электронный.
10. РТМ 36.22-91. Определение критических параметров колебаний охраняемых объектов при взрывном дроблении фундаментов и обрушении зданий при реконструкции : утвержден НПО Спецпромстрой Минмонтажспецстроя СССР 20.12.1990 : срок введения установлен 1 февраля 1991 г. / разработан Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидромеханизации, санитарно-технических и специальных строительных работ. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846357.htm>? – Текст : электронный.

KONDRASHKIN Oleg Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction technology; KHOKHLOV Dmitry Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of hydraulic engineering and transport structures

EXPERIENCE IN MODELING THE DYNAMIC ACTION OF PILE DRIVING ON THE SURROUNDING BUILDINGS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 433-45-35;
fax: +7 (831) 430-03-82; e-mail: gs@nngasu.ru

Key words: impact of construction on surrounding buildings, vibration during pile driving, vibration velocity, modeling.



The article describes the experience and results of computer modeling of the dynamic impact exerted by a coffer installation on the surrounding buildings during pile driving.

REFERENCES

1. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures] : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 16 dekabrya 2016 g. № 970/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.02.01-83* : data vved. 01 iyulya 2017 g. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054206>.
2. Veshnyakov V. A., Nevzorov A. L. Dannye monitoringa i prognoz kolebaniy grunta pri udarnom pogruzhenii svay [Monitoring data and forecast of ground fluctuations during impact immersion of piles] / Razvitie gorodov I geotekhnicheskoe stroitelstvo [Urban development and geotechnical construction]. 2012. № 1. – URL: <https://docplayer.com/66183840-Dannye-monitoringa-i-prognoz-kolebaniy-grunta-pri-udarnom-pogruzhenii-svay.html>.
3. Decker F. Ground vibrations due to pile and sheet pile driving – influencing factors, predictions and measurements. Division of Soil and Rock Mechanics Department of Civil and Architectural Engineering School of Architecture and the Built Environment KTH, Royal Institute of Technology Stockholm. 2013.
4. Khoubani A., Mehdi Ahmadi M. Numerical study of ground vibration due to impact pile driving // Article in Geotechnical Engineering February 2014.
5. PLAXIS Versions. Scientific Material models Dynamic manual /R.B.Y. Brink-qreve, W. Broere. – Delft University of Technology Plaxis b. v., the Netherlands, 2004.
6. SP 465.1325800.2019. Zdaniya i sooruzheniya. Zashchita ot vibratsii metropolitena [Buildings and structures. Protection against vibration of the subway] : utverzhdyon i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 2 dekabrya 2019 g. № 756/pr : data vved. 3 iyunya 2020. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564542930>.
7. Rukovodstvo po proektirovaniyu fundamentov mashin s dinamicheskimi nagruzkami [Guidelines for the design of foundations of machines with dynamic loads]. Nauch.-issledov. in-t osnovaniy i podzemnykh sooruzheniy im. N. M. Gersevanova. Moscow : Stroyizdat, 1982. – 207 p.
8. Chelomey V. N. Vibratsii v tekhnike [Vibrations in technology] : spravochnik : v 6 tomakh. – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – 6 tomov.
9. GOST R 52892-2007. Vibratsiya i udar. Vibratsiya zdaniy. Izmerenie vibratsii i otsenka eyo vozdeystviya na konstruktsiyu [Vibration and shock. Vibration of buildings. Measurement of vibration and assessment of its impact on the structure] : natsional. standart RF : utverzhdyon i vved. v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnich. regulir. i metrologii ot 27 dekabrya 2007 g. № 586-st : vved. v pervye : data vved. 2008-10-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200064161>.
10. RTM 36.22-91. Opredelenie kriticheskikh parametrov kolebaniy okhranyaemykh obektov pri vzryvnom droblenii fundamentov i obrushenii zdaniy pri rekonstruktsii [Determination of critical parameters of vibrations of protected objects during explosive crushing of foundations and collapse of buildings during reconstruction] : utverzhdyon NPO Spetspromstroy Minmontazhspestroya SSSR 20.12.1990 : srok vved. ustanovlen 1 fevralya 1991 g. / razrabotan Vsesoyuznym nauchno-issled. in-tom gidromekhanizatsii, sanitarno-tekhnich. i spetsialnykh stroit. rabot – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294846/4294846357.htm?>

© О. Б. Кондрашкин, Д. Н. Хохлов, 2022

Получено: 13.04.2022 г.