Жусупбеков А.Ж., Омаров А.Р., Лукпанов Р.Е., Жуkenова Г.А., Танырбергенова Г.К. Анализ влияния забивки свай на существующий фундамент (вибромониторинг) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 131–138. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.08

Zhussupbekov A.Zh., Omarov A.R., Lukpanov R.E., Zhukenova G.A., Tanyrbergenova G.K. Analysis of effect of pile driving on the existing foundation (vibration monitoring). *PNRPU Bulletin Construction and architecture*. 2016. Vol. 7, No. 1. Pp. 131-138. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.08

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 1, 2016
PNRPU BULLETIN
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.08

УДК 624.131.55

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАБИВКИ СВАЙ НА СУЩЕСТВУЮЩИЙ ФУНДАМЕНТ (ВИБРОМОНИТОРИНГ)

**А.Ж. Жусупбеков, А.Р. Омаров, Р.Е. Лукпанов,
Г.А. Жуkenова, Г.К. Танырбергенова**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

О СТАТЬЕ

Получена: 19 января 2016
Принята: 29 января 2016
Опубликована: 31 марта 2016

Ключевые слова:

прибор Profound VIBRA+,
3D-сейсмодатчик,
забивка свай,
вибромониторинг,
турбокомпрессор,
динамика, вибрация, свая

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты анализа влияния вибрационного воздействия забивки свай на существующие фундаменты функционирующего нефтегазового комплекса, расположенного в г. Тенгиз. Целью испытаний (вибромониторинга) являлось определение наименьшего допустимого расстояния устройства забивки свай, исключающего вибрационное воздействие на фундамент и обеспечивающего безопасную эксплуатацию завода. Приведены результаты вибрационного воздействия забивки свай на различных расстояниях от фундамента, с учетом собственных колебаний технологических процессов, массивности фундамента и пр., а также результаты возбуждения самого грунтового массива на разных расстояниях от источника вибрационного воздействия (забивки). Источником возбуждения вибрации являлась забивка свай С16-40 сваебойным оборудованием Banut 555 с массой гидравлического молота 6,075 т и максимальной высотой падения 1,0 м. При забивке свай составлялся акт забивки. Вибромониторинг осуществлялся прибором Profound VIBRA+, с использованием 3D-сейсмодатчика. Измерение вибрации осуществлялось через каждые 5 с. Испытания выполнялись согласно требованиям DIN 4150-3, по которым максимальный допустимый уровень вибрации равен 5,00 мм/с (от 0–10 Гц). Максимальное воздействие на грунтовый массив было зафиксировано на дистанции 40 м от источника при забивке свай №№ 3, 5 и 6. Во всех случаях максимальные значения скорости колебаний были зафиксированы при погружении свай С16-40 на глубину от 5 до 8 м.

© ПНИПУ

© Жусупбеков Аскар Жагпарович – доктор технических наук, профессор, e-mail: astana-geostroi@mail.ru.

Лукпанов Рауан Ермаганбетович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: rauan_82@mail.ru.

Омаров Абдулла Рахметович – старший преподаватель, докторант, e-mail: Omarov_01@bk.ru.

Жуkenова Гульнара Абаевна – кандидат технических наук, докторант, e-mail: gulnara-home@mail.ru.

Танырбергенова Гульжанат Канабековна – старший преподаватель, докторант, e-mail: tanyrbergen_guldy@mail.ru.

Askar Z. Zhussupbekov – Doctor of Technical Sciences Professor, e-mail: astana-geostroi@mail.ru.

Rauan E. Lukpanov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: rauan_82@mail.ru.

Abdul R. Omarov – Senior Lecturer, Doctoral Student, e-mail: Omarov_01@bk.ru.

Gulnara A. Zhukenova – Ph.D. in Technical Sciences, Doctoral Student, e-mail: gulnara-home@mail.ru.

Gulzhanat K. Tanyrbergenova – Senior Lecturer, Doctoral Student, e-mail: tanyrbergen_guldy@mail.ru.

ANALYSIS OF EFFECT OF PILE DRIVING ON THE EXISTING FOUNDATION (VIBRATION MONITORING)

**A.Zh. Zhussupbekov, A.R. Omarov, R.E. Lukpanov,
G.A. Zhukenova, G.K. Tanyrbergenova**

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

ARTICLE INFO

Received: 19 January 2016
Accepted: 29 January 2016
Published: 31 March 2016

Keywords:

instrument Profound VIBRA+,
3D seismic sensors, pile-driving,
vibration monitoring, turbocharger,
dynamics, vibration, pile

ABSTRACT

The article presents the results of the analysis of the effect of vibration exposure pile driving on the existing foundations of a functioning oil and gas complex located in Tengiz city. The aim of the tests (vibration monitoring) was to determine the smallest allowable distance piling devices excluding the impact of vibration on the foundation and ensuring the safe operation of the plant. The article presents the results of vibration exposure piling at different distances from the base, taking into account the natural oscillations of technological processes, solid foundation and others, as well as the results of excitation of ground mass at various distances from the source of vibration exposure (pile driving). The source of the vibration excitation was pile driving (C16-40) through pile-driving equipment Banut 555 with a mass of hydraulic hammer 6,075 tonnes and a maximum drop height 1.0 m. In case of driving of piles was drawn up the statement of pile-driving. Vibromonitoring was carried out by the instrument Profound VIBRA +, with use of the 3D seismic sensors. The interval of measurement of vibration was carried out every 5 seconds. Tests were executed according to requirements of norm of DIN 4150-3 according to which the most allowed level of vibration is equal 5,00 mm/sec. (from 0–10 Hz). The maximum impact on a soil array was recorded at a distance 40 m from a source in case of driving of piles No. 3, 5 and 6. In all cases the maximum values of speed of oscillations were recorded when dipping C16-40 piles on depth from 5 to 8 m.

© PNRPU

Нефтегазовый комплекс (завод) расположен в Западно-Казахстанской области в г. Тенгиз. На сегодняшний день завод занимает 2-е место по запасу нефти и газа в Казахстане. Строительство комплекса было завершено в 1991 г., но расширение его мощностей продолжается и сегодня.

Вибромониторинг по дегидратации высокосернистого газа (PU-341 Sour gas dehydration, 62-0000-043-10-DH) производился специалистами ТОО “KGS”¹ вблизи здания 17–18 мая 2013 г. Забивка свай осуществлялась с пяти позиций, расположенных на разноудаленных расстояниях от фундамента объекта исследования (рис. 1).

Источником возбуждения вибрации являлась забивка свай C16-40 (16 м в длину, сечением 40×40 см) сваебойным оборудованием Vanut 555 с массой гидравлического молота 6,075 т и максимальной высотой падения 1,0 м. При забивке свай составлялся акт забивки² [1–8]. Вибромониторинг осуществлялся прибором Profound VIBRA+, с использованием 3D-сейсмодатчика. Интервал измерения вибрации составлял 5 с. Испытания выполнялись согласно требованиям DIN 4150-3 [9], в соответствии с которыми максимальный допустимый уровень вибрации равен (показатель ускорения) 5,00 мм/с (от 0–10 Гц).

1. Программа испытаний

Испытания представлены пятью позициями забивки свай. На рис. 1 приведена схема позиций забивки.

¹ Report of vibration monitoring. KGS-Astana, from 19 May. Project: PU-341 Sour Gas Dehydration (62-0000-043-10-DH), 2012. 32 p.

² ГОСТ 5686–94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. М.: Изд-во стандартов, 1994. С. 3–5; СНиП РК 5.01-03–2002. Свайные фундаменты. Алматы: KazGOR, 2003. С. 27–29; СНиП РК 5.01-01–2002. Основания зданий и сооружений. Алматы: KazGOR, 2003. С. 18–22.

Установка датчика в позицию 1

Установка датчика в позицию 3

Рис. 1. Вибромониторинг на объекте нефтегазового комплекса г. Тенгиз

Fig. 1. Vibration monitoring on the subject of oil and gas complex Tengiz

Позиция 1: на расстоянии 72 м от источника возбуждения, при забивке сваи № 1. Сейсмодатчик зафиксирован на фундамент (Ф-1) турбокомпрессора. Испытания вибромониторингом в позиции 1 начаты за 16–17 ч до забивки свай, с целью определения показателей собственных колебаний (частоты, амплитуды и пр.) завода.

Позиция 2: на расстоянии 58 м от источника возбуждения, при забивке сваи № 2, а также на расстоянии 65 м от источника возбуждения, при забивке сваи № 7. Сейсмодатчик был закреплен на оголовке сваи № 1 для фиксации вибраций от завода (за 2–3 ч до забивки) и собственно от забивки свай.

Позиция 3: на расстоянии 82 м от источника возбуждения, при забивке сваи № 4, а также на расстоянии 114 м от источника возбуждения, при забивке сваи № 8. Сейсмодатчик был закреплен на оголовке сваи № 2.

Позиция 4: на расстоянии 40 м от источника возбуждения, при забивке сваи № 5. Сейсмодатчик был закреплен на оголовке сваи № 4.

Позиция 5: на расстоянии 40 м от источника возбуждения, при забивке свай №№ 3 и 6. Сейсмодатчик был закреплен на оголовке сваи № 5.

Минимальное расстояние от строящегося объекта (забивки) до функционирующего завода 72 м (позиция 1).

2. Результаты испытаний

Измерения характеристик вибрационного воздействия осуществлялись по трем направлениям (плоскостям) – X , Y , Z . При этом ось X была ориентирована в сторону источни-

ка возбуждения (забивки сваи). На рис. 2 представлены результаты испытаний. На рис. 2, а показаны измерения скорости вибрации по времени проведения испытаний, на рис. 2, б – скорость по частоте.

Рис. 2. Результаты испытаний вибромониторинга

Fig. 2. Test results of vibration monitoring

Максимально допустимая скорость вибрации при частоте до 10 Гц составляет 5 мм/с (согласно требованиям DIN 45669³), при частоте более 10 Гц допустимая скорость прямо пропорциональна приращению частоты и показана пунктирной линией на рис. 2, б.

Результаты испытаний также представлены в таблице, где приведены численные значения максимальных показателей скорости до забивки и при забивке для каждой из позиций по трем направлениям.

Численные значения результатов испытаний

Numerical values of test results

Позиция (забивка сваи – номер)	Расстояние от источника, м	Скорость колебания до забивки, мм/с			Скорость колебания при забивке, мм/с		
		X	Y	Z	X	Y	Z
№ 1 (без за- бивки)	–	0,49	0,43	0,99	–	–	–
№ 1 (TP-1)	72	0,25	0,25	0,48	0,98	0,56	1,90
№ 2 (TP-2)	58	0,54	0,41	0,67	9,68	5,26	1,35
№ 2 (TP-7)	62	0,69	0,89	0,12	9,55	6,72	1,25
№ 3 (TP-4)	82	>0,10	0,15	>0,10	4,03	2,67	0,52
№ 3 (TP-8)	114	0,27	0,21	>0,10	2,93	1,77	0,36
№ 4 (TP-5)	40	0,48	0,83	>0,10	17,3	7,59	3,05
№ 5 (TP-3)	40	0,47	0,61	>0,10	13,1	6,59	2,88
№ 5 (TP-6)	40	0,54	0,61	>0,10	14,7	9,28	3,59

³ DIN 45669. Human exposure to vibration in buildings. Germany, 1995–2006. P. 8.

На рис. 3 представлены результаты вибрационного воздействия (скорости колебаний) по трем направлениям с учетом и без учета собственных колебаний завода, в зависимости от расстояния от источника возбуждения.

Рис. 3. График влияния вибрационного воздействия на грунтовый массив по расстоянию от источника возбуждения: *a* – без учета собственных колебаний; *б* – с учетом собственных колебаний

Fig. 3. Graph of the influence of vibration exposure on a soil mass by the distance from the excitation source

На рис. 4 представлен широко используемый в геотехнике график, показывающий влияние вибрационного воздействия от различных источников возбуждения, предложен С.Н. Dowding [10, 11]. График отражает результаты проведенного вибромониторинга при забивке свай по трем осям, без учета и с учетом массивности фундамента. Поскольку мониторинг фундаментной плиты производился только с одной позиции на расстоянии 72 м от источника возбуждения, то для других позиций (в диапазоне от 40 до 114 м) учет массивности фундамента определялся косвенным путем.

Если за предельный критерий принять условие «опасный для людей», то согласно графику забивку свай рекомендуется производить на расстоянии не менее 88 м от существующего завода. Если за предельный критерий принять условие «трещины в стене», то забивку свай рекомендуется производить на расстоянии не менее 54 м от существующего

Рис. 4. График вибрационного воздействия

Fig. 4. Graph of vibration exposure

завода. При несоблюдении данных требований возможны нарушения целостности конструкций функционирующего объекта. Согласно графику наибольшее гашение энергии (вибрационного воздействия) происходит по оси X , т.е. по лобовому направлению.

Закключение

Согласно результатам испытания скорость колебания завода в результате собственных колебаний при технологическом процессе составляет: $z = 0,99$; $y = 0,43$; $x = 0,40$ мм/с. Максимальное значение скорости колебания завода отмечены по направлению Z (вертикальное направление).

Динамическое влияние при забивке свай на фундамент завода относительно небольшое, в численном эквиваленте значительно меньше, чем на грунтовый массив при одинаковом расстоянии от источника возбуждения: $z = 1,9$; $y = 0,56$; $x = 0,98$ мм/с – на фундамент завода при расстоянии 72 м от источника; $z = 1,25$; $y = 6,72$; $x = 9,55$ мм/с – на грунтовый массив при расстоянии 65 м от источника. Последнее объясняется массивностью фундаментной плиты под оборудование; в результате гашения энергии вибрационный эффект на функционирующее сооружение существенно уменьшается.

Максимальное воздействие на грунтовый массив было зафиксировано на дистанции 40 м от источника при забивке свай №№ 3, 5 и 6. Во всех случаях максимальные значения скорости колебаний были зафиксированы при погружении свай С16-40 на глубину от 5 до 8 м (что, в свою очередь, может быть объяснено залеганием более плотных грунтов).

Собственные колебания не оказывают существенного влияния на изменение вибрационного воздействия. С учетом массивности фундаментной плиты забивка свай практически не оказывает вибрационного воздействия на безопасную эксплуатацию функционирующего нефтегазового комплекса на расстоянии более 54 м.

Библиографический список

1. Контроль геометрических характеристик и качества свай неразрушающими экспресс-методами / А.Ж. Жусупбеков, А.С. Турашев, А.Р. Омаров, Е.Б. Утепов, И.О. Морев, Б.О. Калданова // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. – 2013. – Изд. № 6 (97), ч. 2. – С. 14–18.
2. Method Statement for Low Strain Pile Integrity Testing / A.S. Turashev, R.E. Lukpanov, A.R. Omarov, G.A. Zhukonova // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. – 2015. – Изд. № 6 (109), ч. 1. – С. 238–243.
3. The applications of dynamic (PDA and traditional) and traditional static piling tests of Astana city / A.S. Turashev, R.E. Lukpanov, A.R. Omarov, G.A. Zhukonova, G.K. Tanyrbergenova // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. – 2015. – Изд. № 6 (109), ч. 1. – С. 244–249.
4. Геотехнические проблемы строительства мегапроектов в сложных грунтовых условиях Казахстана / А.Ж. Жусупбеков, Р.Е. Лукпанов, Е.Б. Утепов, А.Р. Омаров // Міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2014. – Вип. 81. – С. 100–107.
5. The applications of dynamic and static piling tests of Astana / A.Zh. Zhussupbekov, M.K. Syrlybaev, R.E. Lukpanov, A.R. Omarov // The 15th Asian Regional conference on soil mechanics and geotechnical engineering. – Fukuoka, Japan, 2015. – P. 508–508.
6. Турашев А.С., Дузельбаев С.Т., Омаров А.Р., Мусажалиев Б.А. Напряженное состояние системы «фундаментная плита – анизотропное основание» // Сборник научных трудов Sworld. – Одесса, 2013. – Т. 10. – С. 86–92.
7. Омаров А.Р., Жанабаев Ф.Р. Испытание свай динамической нагрузкой на площадке строительства «Нового Вокзала» в городе Астана // Наука и образование 2015: материалы X междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых. – Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2015. – С. 6624–6628.
8. Zhusupbekov A. Zh., Uteпов E.B., Uteпова M.T., Omarov A.R., Kaldanova B.O. Centrifuge tests on prediction the pile behavior during the in situ tests // Сб. Междунар. науч.-практ. конф. / КазГАСА. – Алматы, 2013. – С. 20–25.
9. The Practice of Foundation Engineering / ed. By R.J. Krizek, C.H. Dowding, F. Somogyi. – Dept. of Civil Eng., Northwestern University, 1985. – 435 p.
10. Dowding C.H. Blast Vibration Monitoring and Control. – Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1985. – 297 p.
11. Dowding C.H. Construction vibrations. – Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1996. – 620 p.

References

1. Zhusupbekov A.Zh., Turashev A.S., Omarov A.R., Uteпов E.B., Morev I.O., Kaldanova B.O. Kontrol' geometricheskikh kharakteristik i kachestva svai nerazrushaiushchimi ekspress-metodami [Control of geometry and quality of the piles non-destructive express methods]. *Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva*, 2013, publ. no. 6 (97), part 2, pp. 14-18.
2. Turashev A.S., Lukpanov R.E., Omarov A.R., Zhukonova G.A. Method Statement for Low Strain Pile Integrity Testing. *Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva*, 2015, publ. no. 6 (109), part 1, pp. 238-248.
3. Turashev A.S., Lukpanov R.E., Omarov A.R., Zhukonova G.A., Tanyrbergenova G.K. The applications of dynamic (PDA and traditional) and traditional static piling tests of Astana city. *Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva*, 2015, publ. no. 6 (109), part 1, pp. 244-249.
4. Zhusupbekov A.Zh., Lukpanov R.E., Uteпов E.B., Omarov A.R. Geotekhnicheskie problemy stroitel'stva megaproektov v slozhnykh gruntovykh usloviyakh Kazakhstana [Geotechnical problems of building of megaprojects in difficult soil conditions of Kazakhstan]. *Mizhvidomchii naukovy-tekhnichnii zbirnik*, 2014, vol. 81, pp. 100-107.

5. Zhussupbekov A.Zh., Syrlybaev M.K., Lukpanov R.E., Omarov A.R. The applications of dynamic and static piling tests of Astana. *The 15th Asian Regional conference on soil mechanics and geotechnical engineering*. Fukuoka, Japan, 2015, pp. 508-508.
6. Turashev A.S., Duzel'baev S.T., Omarov A.R., Musagaliev B.A. Napriazhennoe sostoianie sistemy "Fundamentnaia plita – anizotropnoe osnovanie" [The stress state of the system "foundation plate – anisotropic basis"]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld*. Odessa, 2013, vol. 10, pp. 86-92.
7. Omarov A.R., Zhañabaev F.R. Ispytanie svai dinamicheskoi nagruzkoi na ploshchadke stroitel'stva "Novogo Vokzala" v gorode Astana [Dynamic load testing of the piles on the building site of the "New Station" in Astana]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh "Nauka i obrazovanie – 2015"*. Astana: Evraziiskii natsional'nii universitet imeni L.N. Gumileva, 2015, pp. 6624-6628.
8. Zhussupbekov A. Zh., Utepov E.B., Utepova M.T., Omarov A.R., Kaldanova B.O. Centrifuge tests on prediction the pile behavior during the in situ tests. *Sbornik Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Almaty: Kazakhstanskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2013, pp. 20-25.
9. The Practice of Foundation Engineering. Ed. by R.J. Krizek, C.H. Dowding, F. Somogyi. Dept. of Civil Eng., Northwestern University, 1985. 435 p.
10. Dowding C.H. Blast Vibration Monitoring and Control. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1985. 297 p.
11. Dowding C.H. Construction vibrations. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1996. 620 p.