

Р.Е. Лукпанов¹, Д.В. Цыгулев¹, І.Т. Жұмаділов²

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г. Астана

²Университет имени Шакарима города Семей

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАБИВКИ СВАЙ НА СУЩЕСТВУЮЩИЙ ФУНДАМЕНТ

Аннотация: В статье представлены результаты численного моделирования и вибромониторинга по исследованию влияния вибрационного воздействия забивки свай на существующие фундаменты функционирующего нефтегазового комплекса, расположенного в г. Тенгиз. Целью работы являлось определение наименьшего допустимого расстояния устройства забивки свай исключающего вибрационное воздействие на фундамент и обеспечивающего безопасную эксплуатацию завода. В статье представлены результаты вибрационного воздействия забивки свай на разных расстояниях от фундамента, с учетом собственных колебаний и технологических процессов, массивности фундамента и пр., результаты возбуждения самого грунтового массива на разных расстояниях от источника вибрационного воздействия (забивки), а также результаты численного моделирования вышеописанных практических исследований. Для прогноза минимально допустимого расстояния было использовано численное моделирование в программном комплексе Plaxis 2D.

Ключевые слова: свая, грунт, Plaxis, свайный фундамент, моделирование, SLT.

Введение

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

Так, с целью расширения завода встал вопрос о возможности использования забивных свай, если это возможно, то на каком расстоянии от функционирующего комплекса.

Динамическое нагружение моделировалось на различной глубине до 16 м, для анализа вибрационного импульса на удаленной поверхности, имитируя процесс забивки по глубине (due to inhomogeneous of soil basement): 4, 8, 12 и 16 м. Геологическое строение представлено на расчетной схеме на рисунке 1.

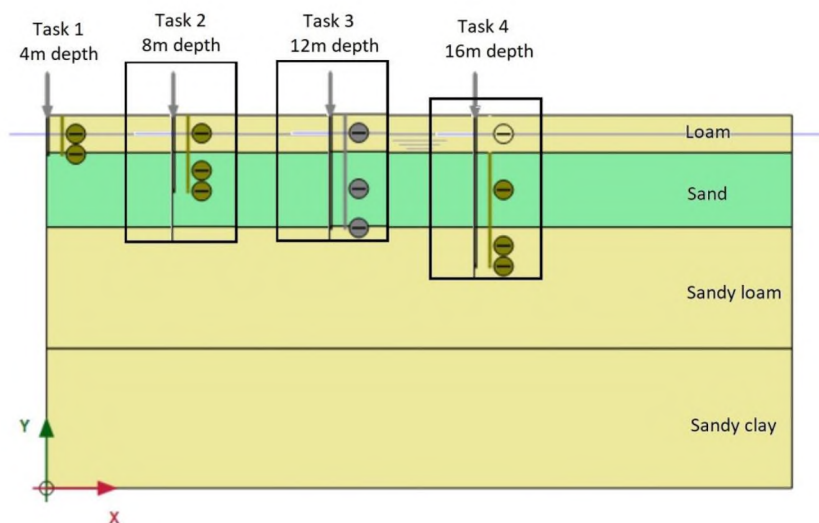


Рисунок 1 – Расчётная схема моделирования забивки свай

Предварительный расчет показал, что рациональными границами в горизонтальном направлении (исследуемое направление распространения вибрации) для данных гидрогеологических условий составляет 80 м, при таком расстоянии время ощутимого

динамического импульса составляет 0,5 секунд. Контрольные поверхностные точки расположены каждые 10 м от источника возбуждения (рис. 2). Dynamic load is modelled by input Harmonic load, described by following: $F = MF\sin(\omega t + \varphi)$. The input value of the dynamic load, corresponding to the driving machine Banut 555 blow energy is 6000 kN/m².

На рисунке 3 представлены значения peak particle velocity (mm/s) по мере удаления от источника возбуждения на каждые 10 м. На рисунке 3а значения peak particle velocity (hereinafter – PPV, mm/s) по вертикально оси y (перпендикулярной к оси распространения волны), на рисунке 3б – по горизонтальной оси x (оси распространения волны). Из графиков видно, что пиковые значения вибрационного воздействия (как по оси x, так и по y) при забивке свай приходится на глубину от 4 до 8 метров, что объясняется наличием более упругого и прочного прослойка, представленного песчаным грунтом.

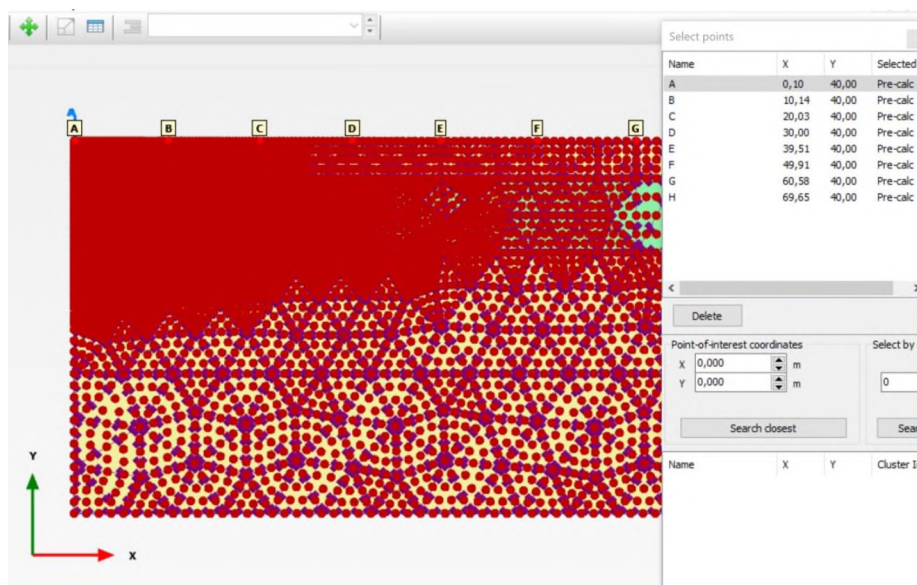
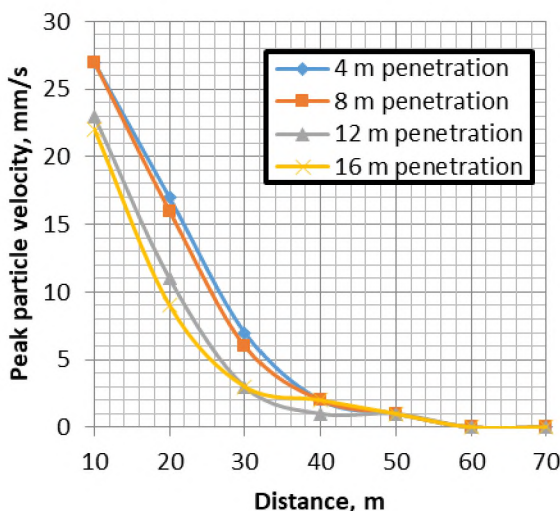
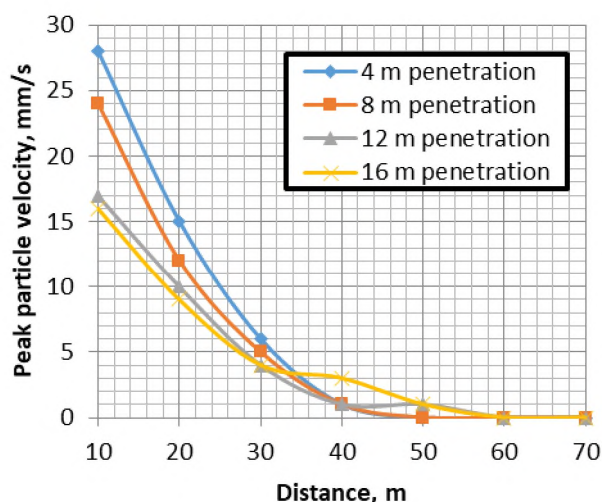


Рисунок 2 – Расположение удаленных от источника возбуждения контрольных точек



a. Vertical axis «y»



b. Horizontal axis «x»

Рисунок 3 – Результаты расчетов вибрационного воздействия по глубине забивки

Согласно требований DIN 4150-3 максимально допустимая скорость вибрации при частоте до 10Гц составляет 3 мм/с, согласно Brithish Standards Institution BS 7385 – 5 мм/с. Согласно результатам численного моделирования, предельно допустимым расстоянием от функционирующего завода до места забивки свай является 35 м (BS), 40 м (DIN).

В качестве контрольной проверки и анализа допустимого расстояния были проведены полевые исследования – вибромониторинг. Вибромониторинг производился специалистами ТОО «KGS» [1] вблизи здания по дегидратации высокосернистого газа (PU-341 Sour gas dehydration, 62-0000-043-10-DH) в 2013 году.

Для разработки программы испытаний были использованы результаты численного моделирования. Испытания представлены 5-ю позициями забивки свай, расположенных на разноудаленных расстояниях от фундамента объекта исследования (рис. 4).

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

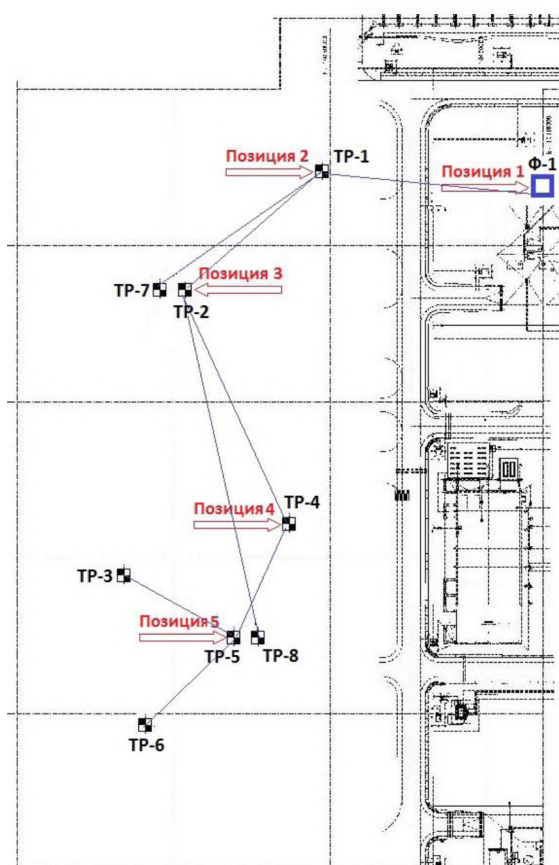
Позиция 2: на расстоянии 58 м от источника возбуждения, при забивке сваи № 2, а также на расстоянии 65 м от источника возбуждения, при забивке сваи №7. Сейсмотатчик был закреплен на оголовок сваи № 1 для фиксации вибраций от завода (за 2-3 часа до забивки) и собственно от забивки свай.

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. Сейсмотатчик был закреплен на оголовок сваи № 2.

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

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

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



Установка датчика в позицию 1



Установка датчика в позицию 3

Рисунок 4 – Вибромониторинг на объекте нефтегазового комплекса Тенгиз

Источником возбуждения вибрации являлась забивка свай С16-40 (16 м в длину, сечением 40х40см) сваебойным оборудованием Banut 555 с массой гидравлического молота 6,075 тонн и максимальной высотой падения 1,0 м. При забивке свай составлялся акт

забивки [2-4] Вибромониторинг осуществлялся прибором Profound VIBRA+, с использованием 3D сейсмодатчика. Интервал измерения вибрации осуществлялся каждые 5 секунд. Испытания выполнялись согласно требований DIN 4150-3 [5], и Brithish Standards Institution BS 7385 [6].

Измерения характеристик вибрационного воздействия осуществлялись по 3-м направлениям (плоскостям) X, Y, Z. При этом ось X была ориентирована в сторону источника возбуждения (забивки сваи). На рисунке 5 представлены результаты испытаний. На рисунке 5а – показаны измерения скорости вибрации по времени проведения испытаний, на рисунке 5б – скорость по частоте. Результаты испытаний также представлены в таблице 1, где приведены численные значения максимальных показателей скорости до забивки и при забивке для каждой из позиций по трем направлениям.

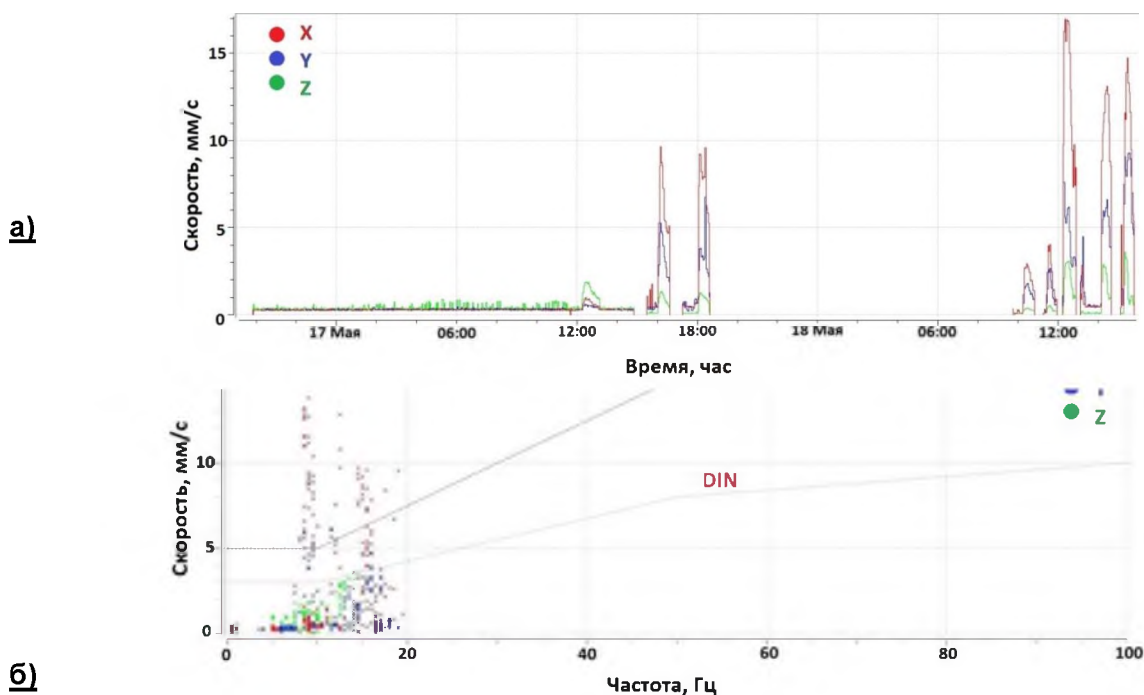


Рисунок 5 – Результаты испытаний вибромониторинга

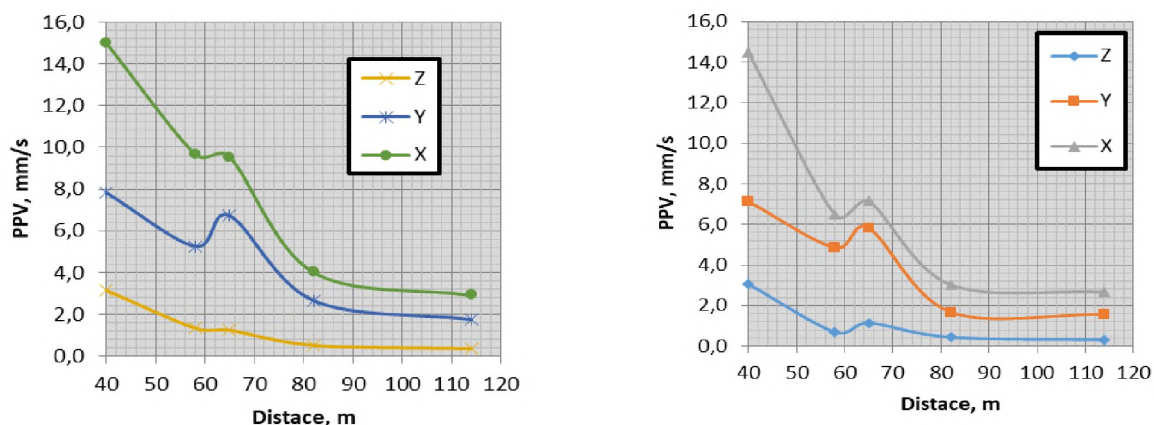
Таблица 1 – Численные значения результатов испытаний

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

Вибрационное влияние от забивки 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 40м 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, также как и при численном моделировании (что в свою очередь может быть объяснено залеганием более плотных грунтов).

На рисунке 6 представлены результаты вибрационного воздействия (скорости колебаний) по трем направлениям с учетом собственных колебаний завода и без в зависимости от расстояния от источника возбуждения.



а) без учета собственных колебаний

б) с учетом собственных колебаний

Рисунок 6 – График влияния вибрационного воздействия на грунтовый массив по расстоянию от источника возбуждения

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 определен косвенным путем. Если за предельный критерий принять требования DIN, то забивку свай согласно вибромониторингу, рекомендуется производить на расстоянии не менее 80м от существующего завода, согласно BS не менее 70 м от существующего завода.

Для оценки качества применения численного моделирования для прогноза вибрационного воздействия, проведен сравнительный анализ с натурными испытаниями. На рисунке 7 показаны результаты сравнения натурных и модельных исследований, из которых особенно видно тесную связь результатов в направлении y. По полученным полиномиальным и логарифмическим описаниям зависимостей с применением линий тренда рисунка 7, на рисунке 8 показаны численные зависимости результатов натурных и численных исследований с тесной корреляционной связью в 95% позволяющих оценить степень сходимости результатов вибрационного воздействия по расстоянию от источника возбуждения по осям x и y. Особенно тесная сходимость результатов в данных геологических условиях наблюдается в диапазоне от 10 до 30 метров от источника.

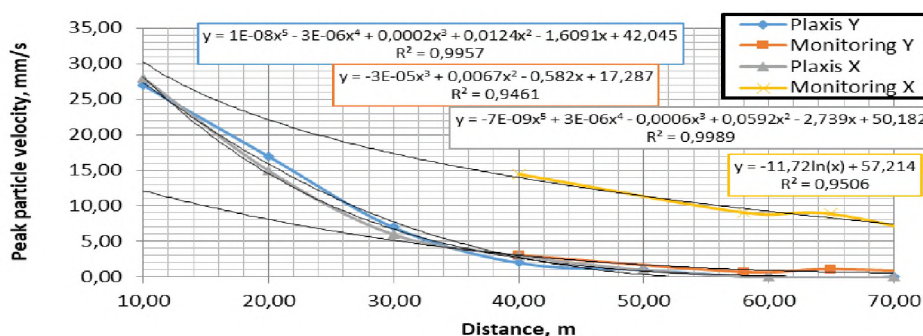


Figure 7 – Comparison PPV vs. distance (monitoring & numerical)

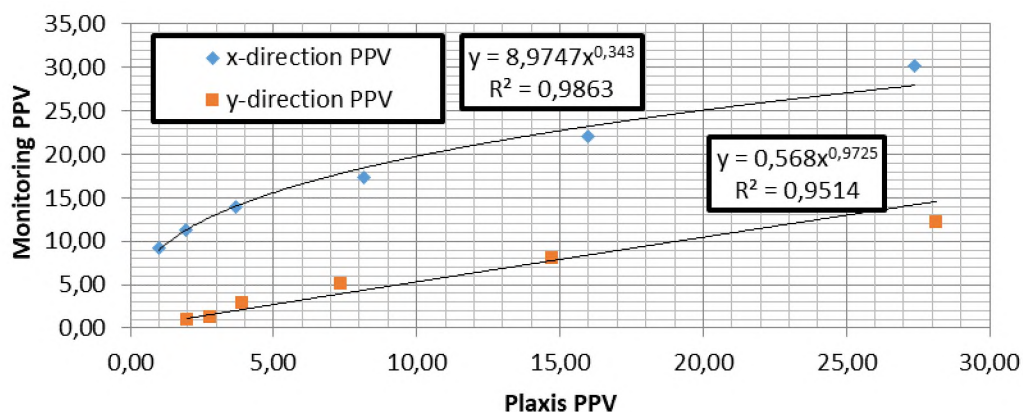


Figure 8 – Comparison PPV monitoring vs. PPV numerical

На рисунке 9 представлен график, широко используемый в геотехнике, показывающий влияние вибрационного воздействия от различных источников возбуждения, предложенный Dowding C.H. [7]. На графике нанесены среднестатистические результаты проведенного вибромониторинга и численного моделирования (синяя и красная линия соответственно), с выноской требований DIN и BS. График можно характеризовать как рекомендуемый при оценке вибрационного воздействия при забивке свай при строительстве завода.

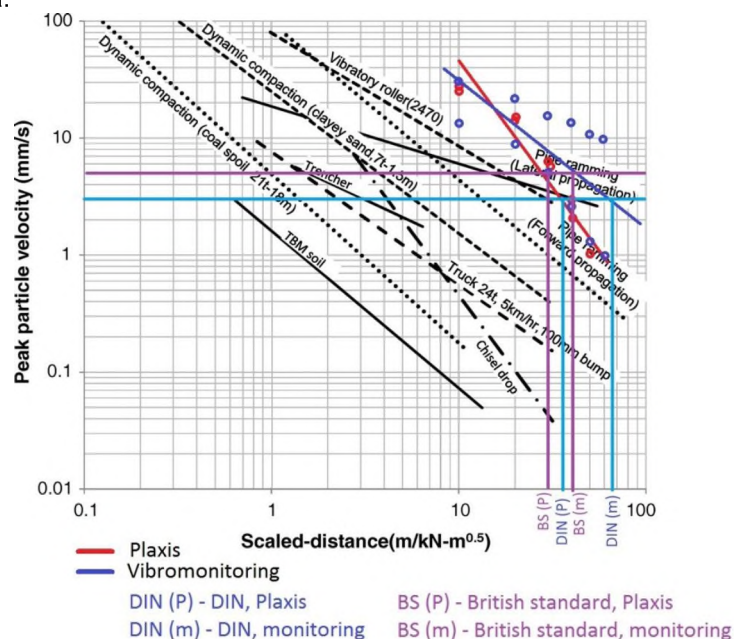


Рисунок 9 – График вибрационного воздействия

Заключение

1. Полученные результаты численного моделирования забивки свай вполне рациональны для определения предельно допустимого расстояния забивки свай до функционирующего завода и имеют особенно большую сходимость с натурными наблюдениями от 10 до 30 м.

2. Численное моделирование, как и натурные исследования показали, что максимальные значения PPV при погружении свай С16-40 приходятся на глубину от 5 до 8 м, что может быть объяснено залеганием на данной глубине более плотных грунтов.

3. Результаты исследований показали, что влияние вибрационного воздействия на существующий объект обратно пропорционально его массе. Это подтверждается тем, что вибрационное влияние от забивки свай на фундамент завода по результатам вибромониторинга относительно небольшое, что объясняется массивностью фундаментной плиты под оборудование, в результате гашения энергии вибрационный эффект на функционирующее сооружение существенно уменьшается. Согласно вибромониторингу

наибольшее гашение энергии (вибрационного воздействия) происходит по оси распространения волны (оси x). Максимальное значение скорости колебания завода зафиксировано в вертикальном направлении (оси Z).

4. Исследования показали возможность сопоставимости прогнозируемых показателей вибрационного воздействия полученных численным моделированием с реальными показателями натурных испытаний. Однако, для более точного прогноза, точной интерпретации и корреляции данных численного моделирования, необходимо дополнительное проведение вибромониторинга.

Литература

1. Report of vibration monitoring / KGS-Astana, from 19 May. Project: PU-341 Sour Gas Dehydration (62-0000-043-10-DH), 2013. – P. 32.
2. GOST 5686-2012. Soils. Field test methods by piles. – M.: Standartinform, 2014. – 3-5 p.
3. SNiP RK 5.01-03-2002. Pile foundation. – Almaty: KazGOR, 2003. – 27-29 p.
4. СНиП РК 5.01-01-2002. Buildings and structures base, Almaty. – KazGOR, 2003. – 18-22 p.
5. DIN 45669. Human exposure to vibration in buildings, Germany, 1995-2006. – p.8.
6. British Standards Institution, BS 7385: Part 1. ISO 4866: 990. Evaluation and measurement vibration in buildings. Part 1. Guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on building, BSI, London. – 990
7. C.H. Dowding, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1996. – 620 pp.

ҚОЛДАНЫСТАҒЫ МҰНАЙГАЗ КОМПЛЕКСІНІҢ ІРГЕТАСТАРЫНА ҚАДА ҚАҒУДЫҢ ӨСЕРІН НАТУРАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ САНДЫҚТЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Р.Е. Лукпанов, Д.В. Цыгулев, І.Т. Жұмаділов

Бұл мақалада Тенгиз қаласында орналасқан мұнайгаз комплексінің іргетастарына, қадалы іргетастарды қаққандағы діріл күшінің өсері зерттеледі және зерттеу қорытындысы сандық модельдеу түрінде көрсетілген. Зерттеу жұмысының мақсаты жақын орналасқан зауыттың қызметінің қауіпсіз жұмыс істеуіне және қада қағатын құрылғының минималды қашықтықта туындаған дірілі өсерін алдын алу. Сонымен қоса мақалада іргетастардың көлемі мен технологиялық процесс және өзіндік діріл өсерінен іргетастарға әр қашықтықта қада қағудың діріл өсерінің нәтижелері көрсетіліп отыр, діріл тудырушы құрылғыдан әр қалай қашықтықта топырақтың қозғалу нәтижелері, оған қоса жоғарыда айтылған практикалық зерттеулердің сандық модельдеу нәтижелері көрсетілген. Минималды рұқсат етілген қашықтықты анықтау үшін сандық модельдеуді бағдарламалық Plaxis 2D жүйесі қолданылды.

Түйін сөздер: қада, топырақ, Plaxis, қадалы іргетас, модельдеу, SLT.

NUMERICAL MODELING AND NATURAL RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PILING FILLING ON THE EXISTING BASE OF THE FUNCTIONING OIL AND GAS COMPLEX

R.E. Lukpanov, D.V. Tsygulev, I.T. Zhumadilov

The article presents the results of numerical modeling and vibration monitoring on the study of the influence of the vibration effect of pile driving on the existing foundations of a functioning oil and gas complex located in Tengiz. The aim of the work was to determine the smallest allowable distance of the pile driving device that excludes vibration impact on the foundation and ensures safe operation of the plant. The article presents the results of vibration impact of pile driving at different distances from the basement, taking into account natural vibrations and technological processes, massiveness of the foundation, etc., the results of the excitation of the soil mass at various distances from the source of vibration exposure (driving), as well as the results of numerical simulation of the above described practical research. For the forecast of the minimum allowable distance, numerical simulation was used in the Plaxis 2D software package.

Key words: pile, soil, Plaxis, pile foundation, modeling, SLT