

*В.А. Александрович, ассистент
Харьковский национальный университет
городского хозяйства им. А.Н. Бекетова*

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ИСПЫТАНИЙ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Проанализирована подверженность различных типов грунтов появлению дополнительных осадок при воздействии динамических нагрузок. Приведены обобщенные теоретические выкладки предыдущих исследователей. Рассмотрены результаты лотковых виброштамповых экспериментов, проведенных в ХНУГХ. Проанализированы имеющиеся экспериментальные данные с других испытательных площадок, с отличными грунтовыми условиями и параметрами колебаний.

Ключевые слова: *виброползучесть, грунт, фундамент.*

*В.А. Александрович, асистент
Харківський національний університет
міського господарства ім. О.М.Бекетова*

АНАЛІЗ ДЕЯКИХ ІСПИТІВ ВІБРОСТІЙКОСТІ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ З ТОЧКИ ЗОРУ СУЧАСНИХ ДОСЯГЕНЬ

Проаналізовано схильність різних типів ґрунтів до виникнення додаткових осадок при дії динамічних навантажень. Наведено узагальнені теоретичні викладки попередніх дослідників. Розглянуто результати лоткових віброштампових експериментів, проведених у ХНУМГ. Проаналізовано наявні експериментальні дані з інших дослідних майданчиків з відмінними ґрунтовими умовами та параметрами коливань.

Ключові слова: *віброповзучість, ґрунт, фундамент.*

*V.A.Aleksandrovych, teaching assistant
O.M. Beketov NUUEKh*

ANALYSIS OF VIBROSTABILITY TESTS OF SEVERAL FOUNDATIONS SOILS IN TERMS OF CURRENT PROGRESSES

Liability to appearance of supplementary settlement of various soils under dynamic loads is analyzing. Generic theoretical computations of previous researchers are adducing. Results of vibrostamp tests in container with soil held at NUUEKh are considering. Existing experimental data from other test sites with various soil conditions and vibrations parameters are analyzing.

Keywords: *vibrocreep, soil, foundation.*

Введение. В городах широко распространены динамические воздействия на грунты. Источниками их являются транспорт, фабрично-заводское оборудование и механизмы, ударные и вибрационные строительные машины и др. По мере роста города сфера динамических воздействий на грунты расширяется.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Грунты различного состава, структуры и физического состояния по-разному реагируют на динамические воздействия. Теоретически все типы грунтов и

даже скальные грунты могут в какой-то мере изменяться при соответствующем режиме динамических воздействий. Вибрация, удары, толчки и другие колебательные воздействия широко проявляются в городских условиях, существенно влияют на грунтовые образования под фундаментами зданий и сооружений. Наиболее чувствительны к таким воздействиям:

а) раздельно-зернистые грунты (пески, гравий, галечники, щебень, валуны), находящиеся в недоуплотненном состоянии, т.е. имеющие степень плотности $D = 0,6$;

б) грунты, имеющие рыхлую, тиксотропную структуру (водонасыщенные рыхлые илы, сапропели, плывуны, разжиженные лессы и т.д.), структурные связи которых легко разрушаются при механических воздействиях;

в) скопления продуктов выветривания (осыпи), оползневые и другие неустойчивые породы на склонах.

На раздельно-зернистые грунты динамические нагрузки действуют сильнее, чем статические, иногда пески даже при больших статических нагрузках почти не уплотняются, но в то же время дают существенную осадку при незначительных динамических воздействиях.

Связные грунты, сложенные минералами пластинчато-чешуйчатой формы, более чувствительны к статическим нагрузкам, особенно если достаточно увлажнены, но они мало реагируют на динамические воздействия, в связи с наличием коллоидно-кристаллизационных связей между минеральными частицами.

Степень вибрационного уплотнения песчаных грунтов зависит от формы, размера, характера укладки минеральных зерен и состояния влажности, от частоты и силы пульсации. Максимальные уплотнения и осадки наблюдаются при частоте колебаний от 500 до 2500 в минуту (опасный интервал вибраций). С таким режимом вибрации работают турбогенераторы, паровые турбины и некоторые другие механизмы. Однако нужно иметь в виду, что и при другом режиме динамических воздействий (даже при простых толчках или ударах), если они длительно действуют, могут возникать значительные осадки.

Упругие колебания минеральных частиц, возникающие при вибрации городского транспорта (трамвай, грузовые автомашины), проникают на глубину порядка 70 м. Величина колебаний зависит от скорости движения транспорта, его нагрузки, типа колес или шин, характера дорожных покрытий.

Осадки земной поверхности, зданий и сооружений и их деформации, вызванные динамическими нагрузками, в городах почти совсем не изучены [1].

Согласно имеющимся теоретическим и экспериментальным исследованиям [2 – 4], процесс развития осадки фундамента во времени

вследствие действия динамической нагрузки на грунт основания, в первую очередь водонасыщенный песок, мог быть описан в общем виде при помощи зависимости вида

$$S(t) = kt^\alpha, \quad (1)$$

где k и α – некоторые коэффициенты, определяемые экспериментальным путем; t – время.

Такой подход подразумевает степенной характер развития осадки фундамента во времени под действием динамической нагрузки.

В рамках исследования данного вопроса в ХНУГХ был построен крупномасштабный лоток и на его базе создана виброштамповая установка для проведения испытаний в лабораторных условиях. Исследования проводились при частотах вынужденных колебаний 10 и 20 Гц [5].

Методика проведения испытаний была следующая:

– ступенчато прикладывалась статическая нагрузка до заданной величины;

– после достижения критерия условной стабилизации [4] осадки от статической нагрузки так же ступенчато прикладывалась динамическая нагрузка (при фиксированной частоте пошагово увеличивалась амплитуда), каждая ступень динамической нагрузки выдерживалась до 30 – 50 часов для наиболее точного определения характера развития осадки во времени.

Согласно полученным при помощи экспериментальной установки данным, имело место развития осадки во времени следующим образом: величины амплитуд можно разделить на две условных группы:

1. Амплитуды, при которых развитие осадки во времени носило затухающий характер (динамические этапы $a=5$ и $a=10$ мкм на рис. 1).

2. Амплитуды, при которых развитие осадки во времени носило не затухающий характер (динамический этап $a=15$ мкм на рис. 1).

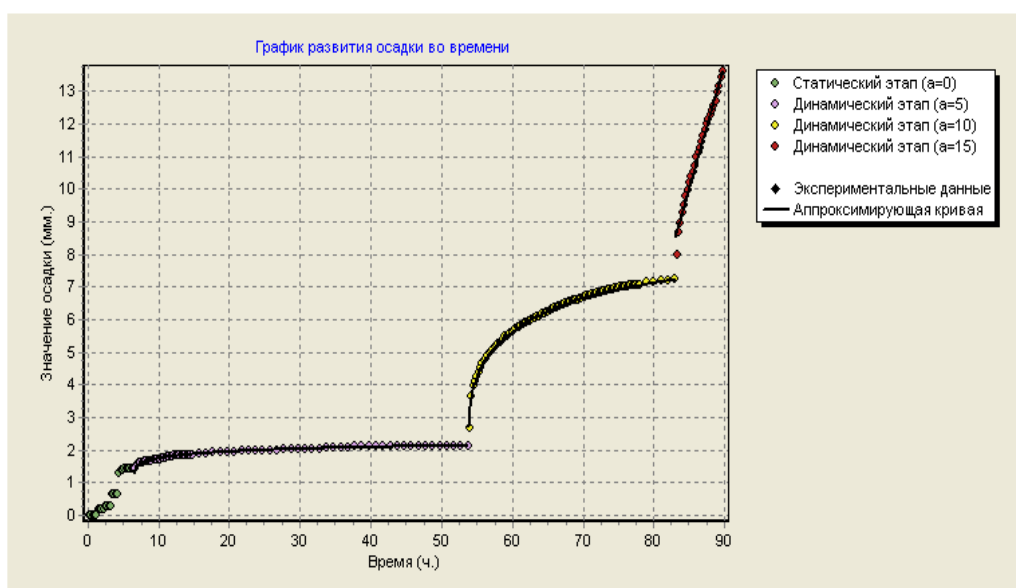


Рис. 1. График развития осадки во времени

В случае, если амплитуда вынужденных колебаний не превышала критической, после достижения которой осадка становилась незатухающей, наблюдалось следующее поведение:

1) на начальном этапе процесса характер развития хорошо аппроксимируется степенной функцией, что согласуется с результатами работ [2 – 4];

2) однако при достижении отметки времени $t > 24 - 30$ часов ее характер становился явно выраженным логарифмическим, что хорошо согласуется с результатами фундаментальной работы [5]. При условии проведения эксперимента с неизменными величинами статического давления $P_{ст}$, амплитуды колебаний a и частоты колебаний f .

После превышения определенной величины амплитуды a , именуемой в данном исследовании критической, развитие осадки во времени становилось незатухающим – т.е. наиболее точно может быть аппроксимировано при помощи функции прямой

$$y=kt+b, \quad (2)$$

где k и b – некоторые коэффициенты, определяемые экспериментальным путем; t – время.

Постановка задачи. Ввиду описанных выше разночтений, было принято решение обработать некоторые имеющиеся материалы испытаний виброустойчивости оснований, выполненные для более высоких частот вынужденных колебаний на сходных песчаных основаниях, при помощи современных достижений в области компьютерного программного обеспечения.

Основной материал и результаты. За основу для проведения анализа были взяты журналы проведения динамических виброштамповых испытаний, выполненных ранее для частот, близких к 50 Гц. Методика проведения испытаний на площадке 1 была следующая: динамическая нагрузка ограничена заданной величиной и не изменялась на протяжении всего эксперимента, статическая нагрузка была поделена на ступени и последовательно увеличивалась по мере достижения критерия условной стабилизации каждой предыдущей ступени. За условную стабилизацию динамической ступени было принято условие осадки штампа со скоростью не более 0,02 мм за 3 часа непрерывного приложения динамической нагрузки. Статическая нагрузка увеличивалась до появления признаков отсутствия затухания осадки.

Грунтовые условия – пески мелкие желтовато и зеленовато-серые, средней плотности водонасыщенные; плотность $\rho=1,84$ т/м³; плотность скелета $\rho_d=1,57$ т/м³; влажность $w=0,17$; коэффициент пористости $e=0,69$; угол внутреннего трения $\varphi=28^{\circ}$; удельное сцепление $c=1$ кПа; модуль деформации $E=38$ МПа.

Данные журналов были внесены в компьютерную программу, и построены графики развития осадки во времени (см. рис. 2 – 5).

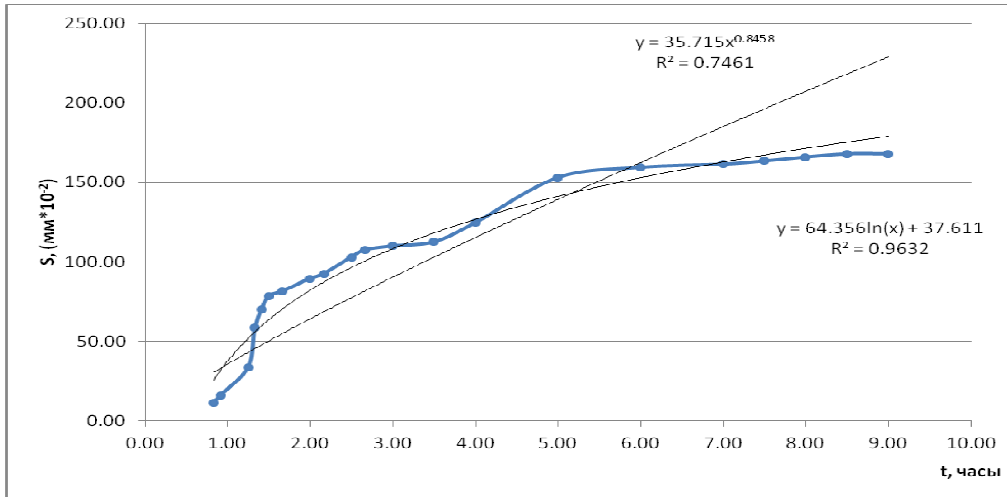


Рис. 2. Графік розвитку осадки во времени при $f=50$ Гц, $P=0,15$ МПа, $a=10$ мкм (площадка 1)

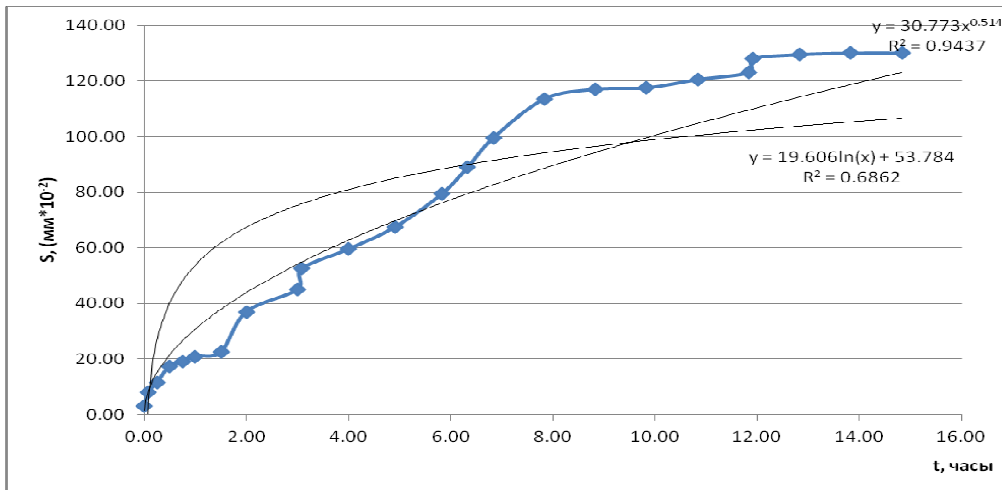


Рис. 3. Графік розвитку осадки во времени при $f=50$ Гц, $P=0,20$ МПа, $a=10$ мкм (площадка 1)

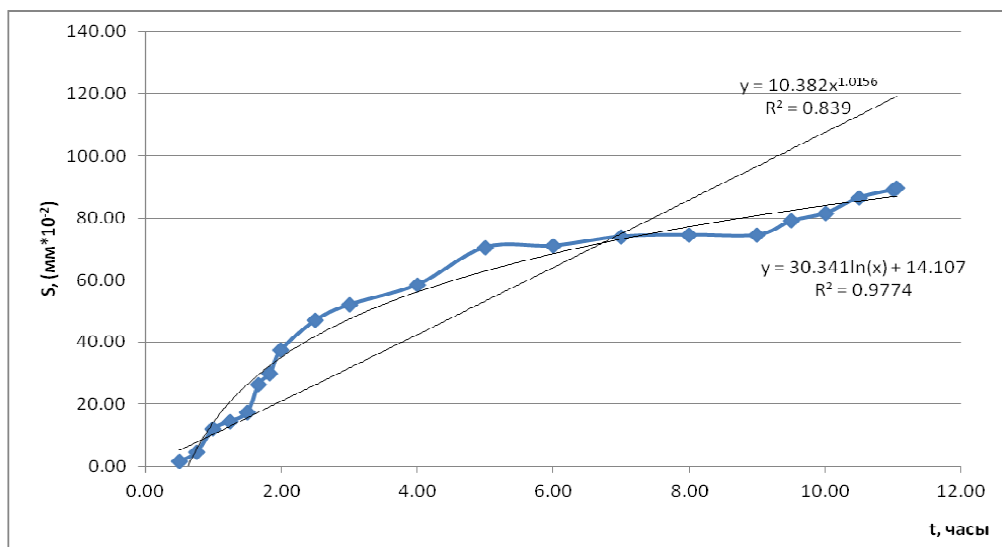


Рис. 4. Графік розвитку осадки во времени при $f=50$ Гц, $P=0,25$ МПа, $a=10$ мкм (площадка 1)

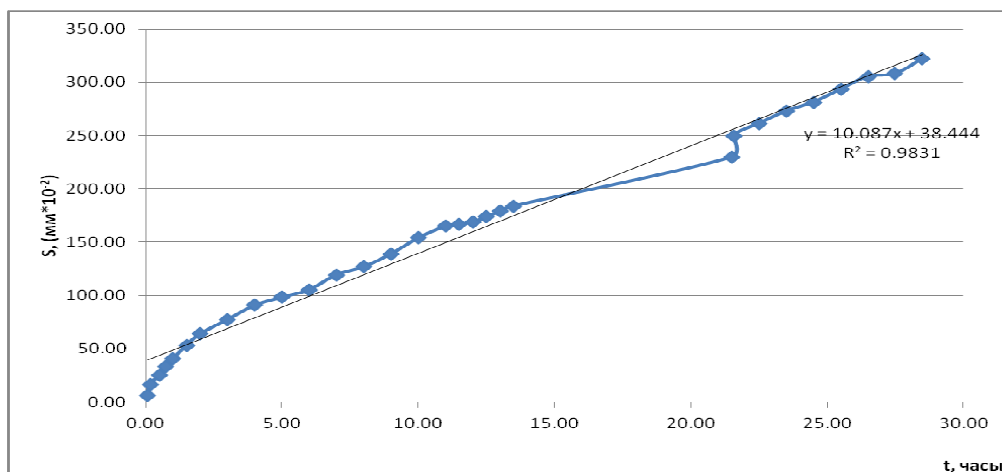


Рис. 5. График развития осадки во времени при $f=50$ Гц, $P=0,30$ МПа, $a=10$ мкм (площадка 1)

Как видно из графиков на рис. 1 – 5, при амплитудах в области затухающих колебаний аппроксимация графиков развития осадки во времени с большей достоверностью принадлежит логарифмическим функциям, кроме графика, представленного на рис. 3, что, однако, можно объяснить недостаточным временем проведения соответствующего динамического этапа (т.к., согласно нашим наблюдениям, на временном отрезке <24 – 30 часов проведения эксперимента может наблюдаться поведение осадки, близкое к степенному).

При $f=50$ Гц, $P=0,30$ МПа, $a=10$ мкм предыдущими исследователями было определено проявление признаков незатухающей осадки, что подтвердилось и нашей обработкой результатов (см. рис. 5): при данных параметрах вынужденных колебаний тенденции к снижению скорости осадки штампа не было обнаружено на протяжении ~ 30 часов.

Данные обработки журналов площадки № 2 отображены на рис. 6 – 8. Грунтовые условия – пески серого и бурого цвета, водонасыщенные, средней плотности; плотность $\rho=1,78$ т/м³; влажность $w=0,18$; коэффициент пористости $e=0,675$; угол внутреннего трения $\varphi=23^{\circ}$; удельное сцепление $c=0,75$ кПа; модуль деформации $E=22$ МПа. Методика проведения испытаний на площадке 2 была аналогичной принятой при проведении лабораторных испытаний в ХНУГХ. До достижения определенного давления под подошвой штампа ступенчато прикладывалось статическое давление, затем также ступенчато прикладывалось динамическое давление до достижения проектной величины.

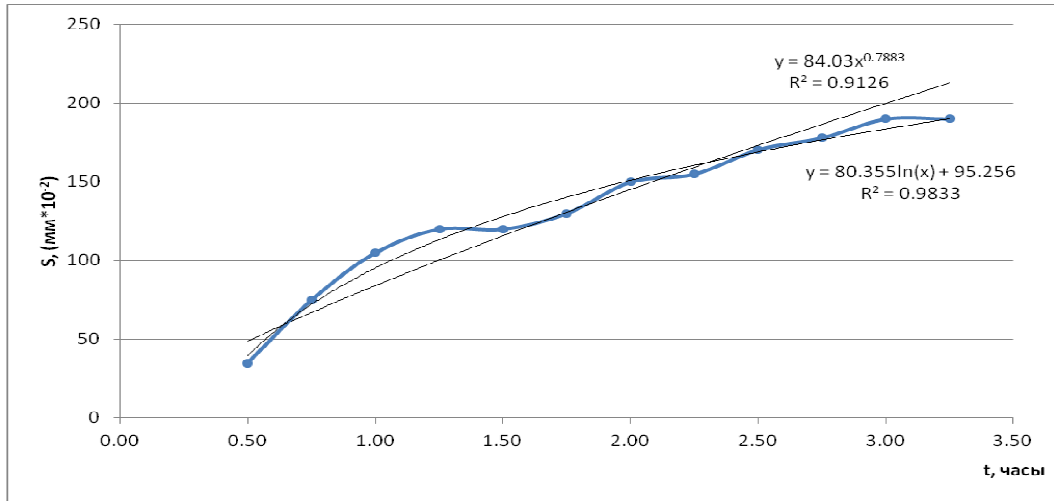


Рис. 6. График развития осадки во времени при $f=50$ Гц, $P=0,20$ МПа, $a=11$ мкм (площадка 2)

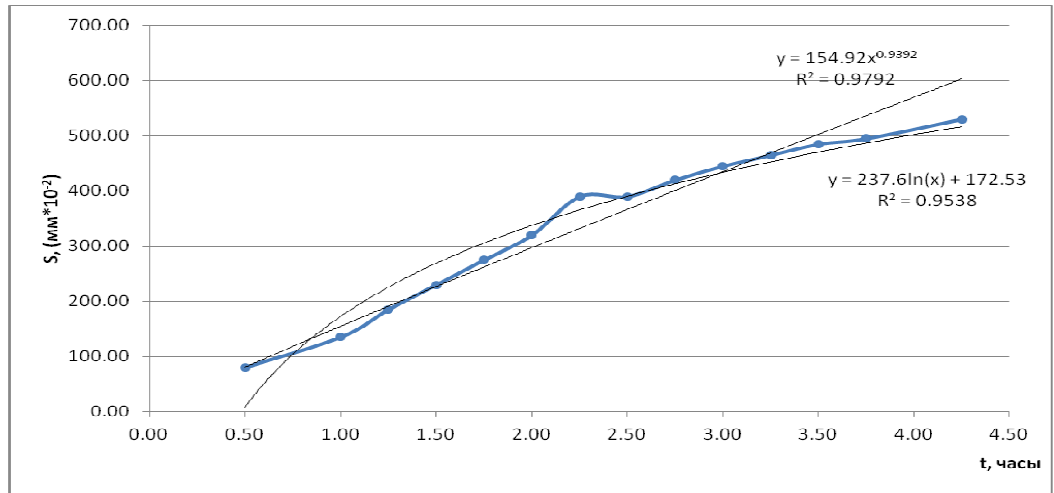


Рис. 7. График развития осадки во времени при $f=50$ Гц, $P=0,20$ МПа, $a=15$ мкм (площадка 2)

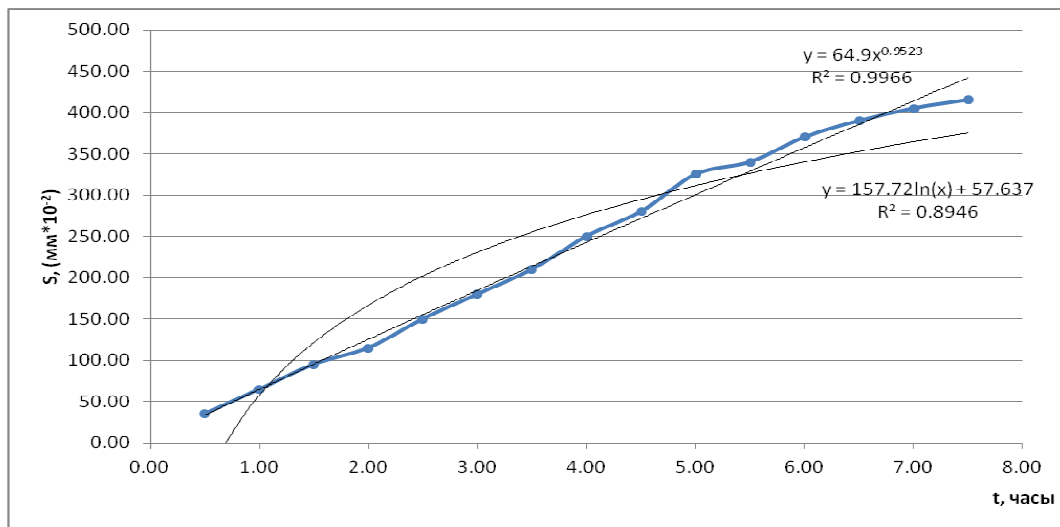


Рис. 8. График развития осадки во времени при $f=50$ Гц, $P=0,20$ МПа, $a=21$ мкм (площадка 2)

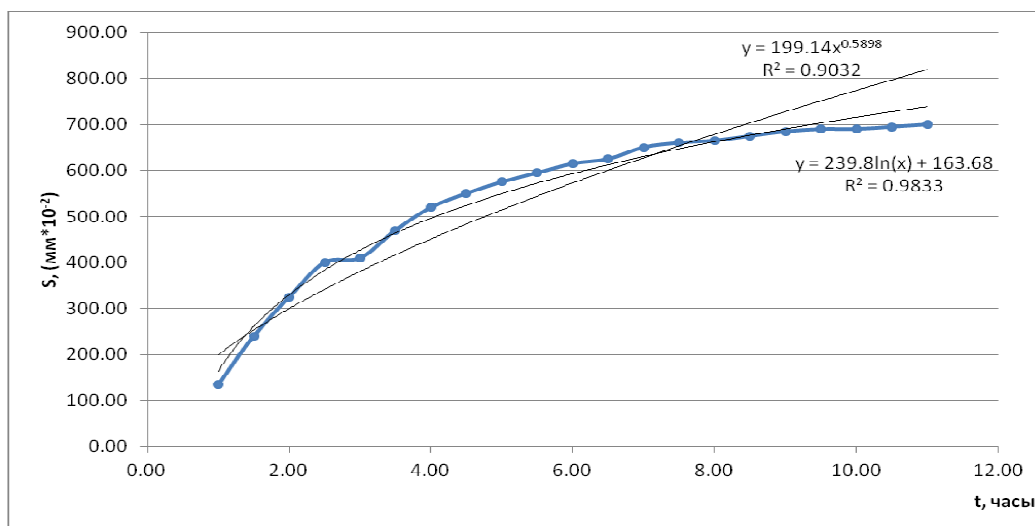


Рис. 9. График развития осадки во времени при $f=50$ Гц, $P=0,20$ МПа, $a=25$ мкм (площадка 2)

Аналогично предыдущему случаю из графиков на рис. 6 – 9 при амплитудах в области затухающих колебаний аппроксимация графиков развития осадки во времени с большей достоверностью принадлежит логарифмическим функциям, кроме графика, представленного на рис. 8, что объясняется малой продолжительностью динамического этапа, чтобы установилась логарифмическая зависимость осадки во времени.

Амплитуда, при которой проявится незатухающая осадка, в данном эксперименте достигнута не была.

Выводы. В предыдущих исследованиях по вопросу изучения поведения песчаных грунтов при динамических воздействиях [5 – 8] автор уже обращал внимание на то, что в его лабораторных экспериментах обнаруживается зависимость развития осадки штампа во времени при действии динамических нагрузок на песчаное основание. На тот момент исследования были ограничены одним испытываемым грунтом основания и несколькими комбинациями статической и динамической нагрузок, и частот, которые позволяет задавать экспериментальная установка. Однако при обработке экспериментальных данных, связанных с практическим определением критических параметров колебаний, при которых проявляется незатухающая осадка штампа, была обнаружена аналогичная тенденция к описанию при помощи логарифмической зависимости развития осадки под действием динамической нагрузки. Прогнозирование осадки фундаментов, согласно подходам, описанным в работах [2 – 4], ведущим к описанию затухающих ступеней динамической нагрузки при помощи степенной функции, позволяет достоверно определить параметры колебаний, при которых осадка становится незатухающей, однако дает больший запас по сравнению с наблюдаемой зависимостью.

Поскольку на данном этапе исследований невозможно однозначно исключить, что для каких-то грунтов и параметров колебаний может

проявится степенная зависимость развития осадки во времени, рекомендуется увеличить время проведения эксперимента для установления характера данной зависимости и ее коэффициентов с 4 – 8 часов в рекомендациях в [4] до >30 – 50, с определением математической зависимости описывающей осадку, а также ее прогнозирование во времени при помощи программы GRAF [5], разработанной специально для этих целей.

Литература

1. *Основания и фундаменты: учеб. пособие / Л.Н. Шутенко, Ю.Т. Лупан, П.Л. Клемяционок [и др.]*; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2004. – 674 с.
2. Хаин, В.Я. *Теоретический анализ длительных осадок фундаментов при действии статической и динамической нагрузок / В.Я. Хаин // Динамика оснований и сооружений / под. ред. Д.Д.Баркан [и др.]*. – Ташкент, 1977. – С. 151–153.
3. Филлипов, О.Р. *Экспериментальные исследования осадки штампов на водонасыщенном песчаном грунте при вибрациях / О.Р. Филлипов // Динамика оснований и сооружений / под. ред. Д.Д.Баркан [и др.]*. – Ташкент, 1977. – С. 153–155.
4. *Рекомендации по проведению полевых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов турбоагрегатов / В.А. Ильичев, В.И. Керчман, В.Г. Таранов, В.Я. Хаин*. – М: НИИОСП–ДИИТ, 1986. – 30с.
5. Aleksandrovych V.A. *Concerning the vibrocreep issue / V.A. Aleksandrovych // Proceedings of 22-nd European Young Geotechnical Engineers Conference / edited by V. Swahn et al.* – Sweden, Gothenburg: Chalmers university of technology, 2012. – P. 173 – 178.
6. Александрович, В.А. *Испытания виброустойчивости песчаных оснований фундаментов / Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво)*. – Вип. 75: В 2-х кн.: Книга 1. – Київ, 2011. – С. 464 – 469.
7. Александрович, В.А., Таранов, В.Г. *Виброустойчивость песчаных оснований в диапазоне частот вынужденных колебаний 5 – 50 Гц / В.А. Александрович, В.Г. Таранов // зб. наук. пр. сер.: Галузеве машинобудування, будівництво Полт НТУ*. – Полтава, 2012. – Вип 34- С.24-29.
8. Aleksandrovych V.A., Taranov V.G. *etal. / Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. vol. 2. – France, Paris, Presses des Ponts, 2013. – P. 1627 – 1629.

Надійшла до редакції 23.09.2013

© В.А. Александрович