

*В.А. Александрович, ассистент
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова
Ю.Л. Винников, д.т.н., профессор
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

ОСАДКИ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ ШТАМПА ОТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ПОДЧИНЯЮЩИХСЯ ГАРМОНИЧЕСКОМУ ЗАКОНУ

Изложены результаты лотковых и натурных виброштамповых экспериментов. Проанализированы особенности появления и развития дополнительных осадок песчаных оснований фундаментов от влияния динамических нагрузок. Установлены зависимости возникновения и развития дополнительной осадки песчаных оснований фундаментов от амплитуды и частоты динамической нагрузки, подчиняющейся гармоническому закону, при соответствующей величине статического давления под штампом. Определено, что при развитии деформации согласно линейной функции эти осадки быстро превысят нормативную величину. Выделено два типа осадок – затухающая и незатухающая – в зависимости от закона, которым они будут аппроксимированы наиболее корректно.

Ключевые слова: *виброползучесть, несвязный грунт, штамп, фундамент, осадка, статическая и динамическая нагрузка, частота колебаний, гармонический закон.*

*В.А. Александрович, асистент
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова
Ю.Л. Винников, д.т.н., професор
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ОСІДАННЯ ПІЩАНИХ ОСНОВ ШТАМПА ВІД ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ПІДПОРЯДКОВАНИХ ГАРМОНІЙНОМУ ЗАКОНУ

Викладено результати лоткових і натурних віброштампових дослідів. Проаналізовано особливості виникнення та розвитку додаткових осідань піщаних основ фундаментів від дії динамічних навантажень. Установлено залежності виникнення і розвитку додаткового осідання піщаних основ фундаментів від амплітуди та частоти динамічного навантаження, що підпорядковується гармонійному закону, при відповідній величині статичного тиску під штампом. Визначено, що при розвитку деформації за лінійною функцією ці осідання швидко перевищать нормативну величину. Виділено два типи осідань – затухаюче і незатухаюче – залежно від закону, яким вони будуть апроксимовані найбільш коректно.

Ключові слова: *віброповзучість, незв'язний грунт, штамп, фундамент, осідання, статичне та динамічне навантаження, частота коливань, гармонійний закон.*

SETTLEMENTS OF SANDY STAMP FOUNDATION UNDER DYNAMIC LOADS BY HARMONIC LAW

Results of vibrostamp tests in container and field with soil are considering. Appearance and progress with time of supplementary settlement of sandy foundation soils under dynamic loads is analyzing. Appearance and progress with time of supplementary settlement of sandy foundation soils under harmonic loads are depended on key parameters of the load. According to our experimental studies we had identified the behavior of settlement in time, with various combinations of frequency, amplitude of forced vibration and static load as follows. After reaching settlement stabilization from the static load applied and the inclusion of the vibrator, depending on the amplitude of the forced oscillations of the vibrator it can starts an additional to the settlement already occurred from static loading. It could be two different kinds if vibrocreep settlement: decaying and sustained settlements depends to the mathematical law most reasonably could be used to approximate the experimental data.

Keywords: vibrocreep, non-cohesive soil, stamp, foundation, settlement, static and dynamic loading, frequency, harmonic law.

Введение. Величины механических свойств грунтов различного состава, структуры и состояния в общем случае снижаются в зависимости от режима динамического воздействия на них. Вибрация, удары, толчки, другие колебательные воздействия, характерные для городских условий, негативно влияют на геотехнические свойства оснований фундаментов зданий и сооружений. Наиболее чувствительны к подобным воздействиям несвязные (песчаные) грунты, в особенности в водонасыщенном состоянии [1]. Зафиксировано немало примеров [2 – 4] сверхнормативных и даже аварийных деформаций зданий и сооружений вследствие дополнительных осадок их оснований от влияния динамических нагрузок.

На пески динамика влияет сильнее, чем статика. При существенном статическом давлении они уплотняются мало, но получают значительную дополнительную осадку даже при малом динамическом влиянии. Связные увлажненные глины и суглинки из минералов пластинчато-чешуйчатой формы чувствительнее к статическим нагрузкам, но меньше реагируют на динамические, вследствие наличия коллоидно-кристаллизационных связей между частицами. Степень уплотнения песка зависит от формы, размера, характера укладки зерен, влажности грунта, частоты и силы пульсации нагрузки. Максимальные уплотнения и осадки характерны для частоты от 500 до 2500 колебаний/мин (опасный интервал вибраций) – режим работы турбогенераторов, паровых турбин и еще некоторых механизмов [1]. Но и другие режимы динамических воздействий (даже простые толчки, удары) при длительном влиянии могут вызывать значительные дополнительные осадки земной поверхности, оснований зданий и сооружений, которые мало изучены и слабо отражены в строительных нормах [5].

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. При проектировании фундаментов под оборудование с динамическими нагрузками следует учитывать влияние вибрации, передающейся через подошву фундамента на грунты. Она снижает их прочность, повышает сжимаемость и, как следствие, вызывает трещины в конструкциях при превышении предела их прочности от сочетания статических и динамических напряжений. Кроме частоты и

амплитуды вынужденных колебаний оборудования, на уровень вибрации влияет также тип и размеры фундаментов, частоты собственных колебаний конструкций и их элементов. В водонасыщенных пылеватых и мелких песках (особенно при содержании в них органики) проявляется их виброползучесть. Необходимы исследования виброустойчивости песчаных оснований жесткого штампа по авторской методике [6].

Обзор последних источников исследований и публикаций. Геотехники [7 – 10] по аналогии со статикой [2] выделяют три фазы деформирования основания в зависимости от интенсивности совместного статического и динамического воздействия на него. Первая имеет место при небольших статических и динамических нагрузках, осадка основания в ней происходит за счет уменьшения пористости грунта. Вторая фаза характеризуется развитием в массиве значительных областей пластических деформаций (даже при небольших динамических воздействиях возникают существенные осадки с тенденцией к их росту и удлинению сроков стабилизации [8]). Эти осадки происходят и в песчаных (в т. ч. плотных), и в глинистых грунтах. В этой фазе осадки носят разрушительный характер и протекают с большой скоростью – потеря устойчивости или погружение фундамента в грунт как в вязкую среду. Последний эффект тем значительней, чем больше грунт меняет свойства от динамических нагрузок. Его часто используют для виброуплотнения грунтов [11 – 17].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Мало исследован вопрос развития осадок оснований в третьей фазе, в частности, количественное описание момента начала разжижения водонасыщенных песков [8 – 17]. Геотехники основное внимание уделяли поведению грунта непосредственно при разжижении, хотя важны и условия его перехода в разжиженное состояние (критические параметры вибрации, при которых начинается процесс уплотнения), а также возможность прогнозирования конечной осадки основания при действии динамической нагрузки с заданными параметрами.

Цель работы – выявить влияние интервалов амплитуд и частот динамической нагрузки при соответствующей величине статического давления под штампом на конечную осадку несвязных оснований фундаментов машин с динамическими нагрузками, описываемыми гармоническим законом, путем лотковых и полевых испытаний водонасыщенных песков жесткими виброштампами.

Основной материал и результаты. Серия лотковых испытаний. Исследования развития дополнительной осадки песчаного основания штампа во времени от действия динамических нагрузок проведено с помощью программно-аппаратного комплекса [18 – 20]. Грунт – песок средней крупности, водонасыщенный; плотность $\rho=1,96 \text{ т/м}^3$; плотность скелета $\rho_d=1,62 \text{ т/м}^3$; влажность $w=0,21$; коэффициент пористости $e=0,64$; угол внутреннего трения $\varphi=33^\circ$; удельное сцепление $c=3 \text{ кПа}$; модуль деформации $E=38 \text{ МПа}$ (далее – грунт № 1).

Испытания ведут по двум схемам [19]. По первой – после передачи на виброштамп заданного статического давления, выдержки до условной стабилизации осадки S_{cm} к нему прикладывается динамическая нагрузка. По второй схеме опыты ведут при различных величинах изменяющегося ступенями статического давления и заданной (фиксированной) величине амплитуды колебаний a . Продолжительность статических этапов определяется строительными нормами, а динамических – достижением критерия условной стабилизации (скорость осадки – $0,02 \text{ мм/час}$), но не более 4 – 8 ч.

На базе описанных методик была принята следующая:

- статическая нагрузка приложена ступенями до заданной величины;
- после достижения условной стабилизации осадки от статической нагрузки так же ступенчато прикладывалась динамическая нагрузка (при фиксированной частоте

пошагово увеличивали амплитуду), каждую ступень динамической нагрузки выдерживали до 30 – 50 ч для наиболее точного определения характера развития осадки во времени.

В итоге время проведения эксперимента было увеличено на каждой из динамических ступеней вместо рекомендованных [19] 4 – 8 ч до 30 – 50 ч, ввиду обоснованных предварительными опытами сомнений в достаточности такого интервала времени для получения данных о развитии осадки во времени с достаточной достоверностью. Результаты обработки экспериментальных данных со значениями коэффициента корреляции эмпирических формул для прогноза развития во времени дополнительных осадок основания штампа представлены на рис. 1 – 17. Во всех случаях получена тесная связь опытных данных.

1. Эксперимент № 1. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под подошвой штампа $P=0,05$ МПа, амплитуда колебаний $a=5$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки отсутствует.

2. Эксперимент № 2. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,05$ МПа, амплитуда колебаний $a=10$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей функции, подчиняющейся логарифмическому закону (см. рис. 1).

3. Эксперимент № 3. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,05$ МПа, амплитуда колебаний $a=15$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей функции, подчиняющейся степенному закону (см. рис. 2).

4. Эксперимент № 4. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,05$ МПа, амплитуда колебаний $a=20$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде незатухающей линейной функции (см. рис. 3).

5. Эксперимент № 5. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,1$ МПа, амплитуда колебаний $a=5$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей логарифмической функции (см. рис. 4).

6. Эксперимент № 6. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,1$ МПа, амплитуда колебаний $a=10$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей логарифмической функции (см. рис. 5).

7. Эксперимент № 7. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,25$ МПа, амплитуда колебаний $a=5$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей степенной функции (см. рис. 6).

8. Эксперимент № 8. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,25$ МПа, амплитуда колебаний $a=10$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей функции, которая практически с одинаковой достоверностью аппроксимируется как степенной, так и логарифмической функцией (см. рис. 7).

9. Эксперимент № 9. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,25$ МПа, амплитуда колебаний $a=20$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде незатухающей линейной функции (см. рис. 8).

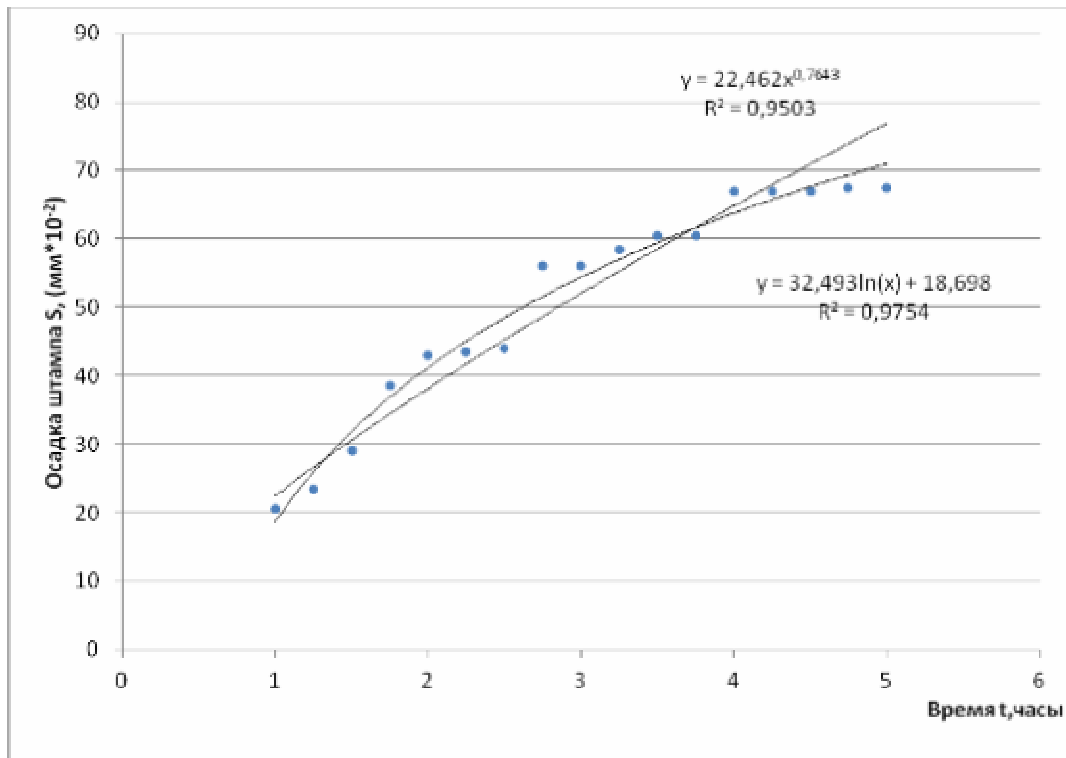


Рис. 1. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,05$ МПа, амплитуде колебаний $a=10$ мкм

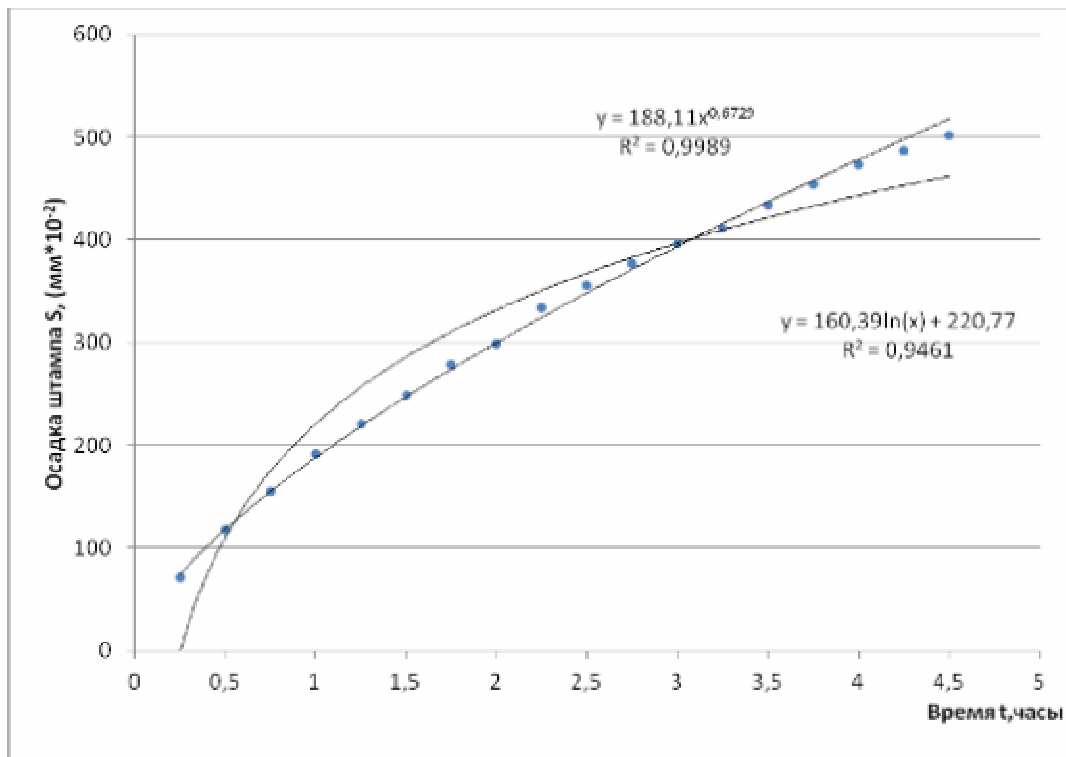


Рис. 2. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,05$ МПа, амплитуде колебаний $a=15$ мкм

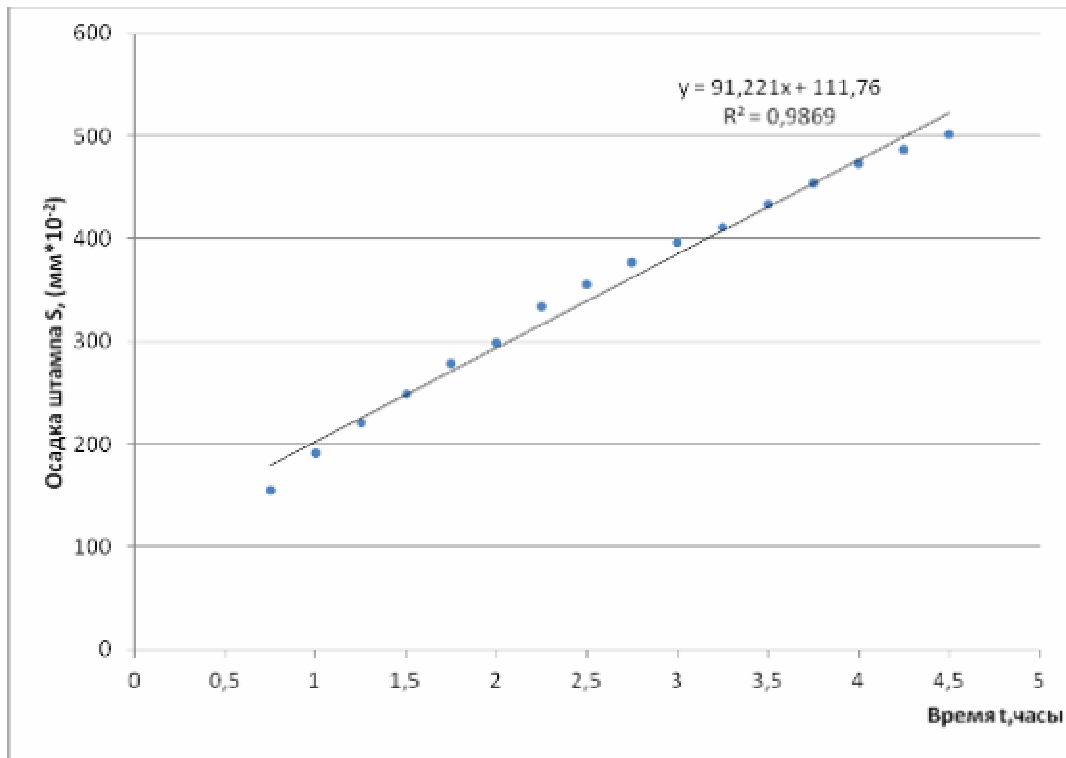


Рис. 3. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,05$ МПа, амплитуде колебаний $a=20$ мкм

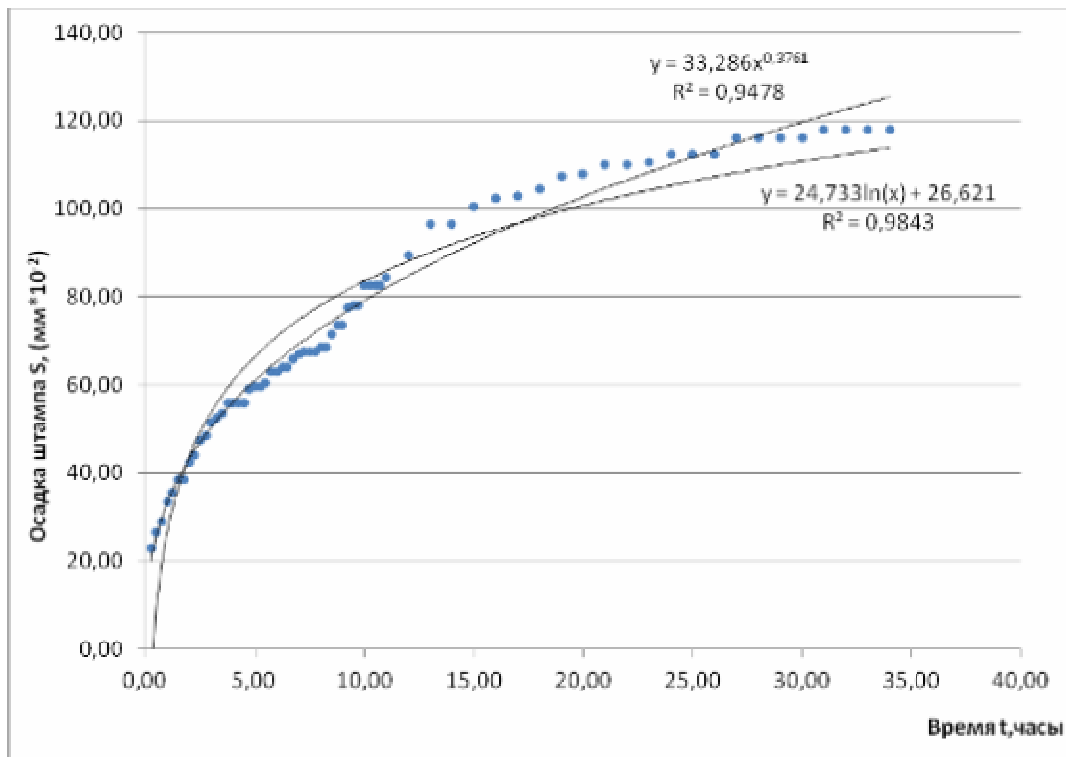


Рис. 4. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,1$ МПа, амплитуде колебаний $a=5$ мкм

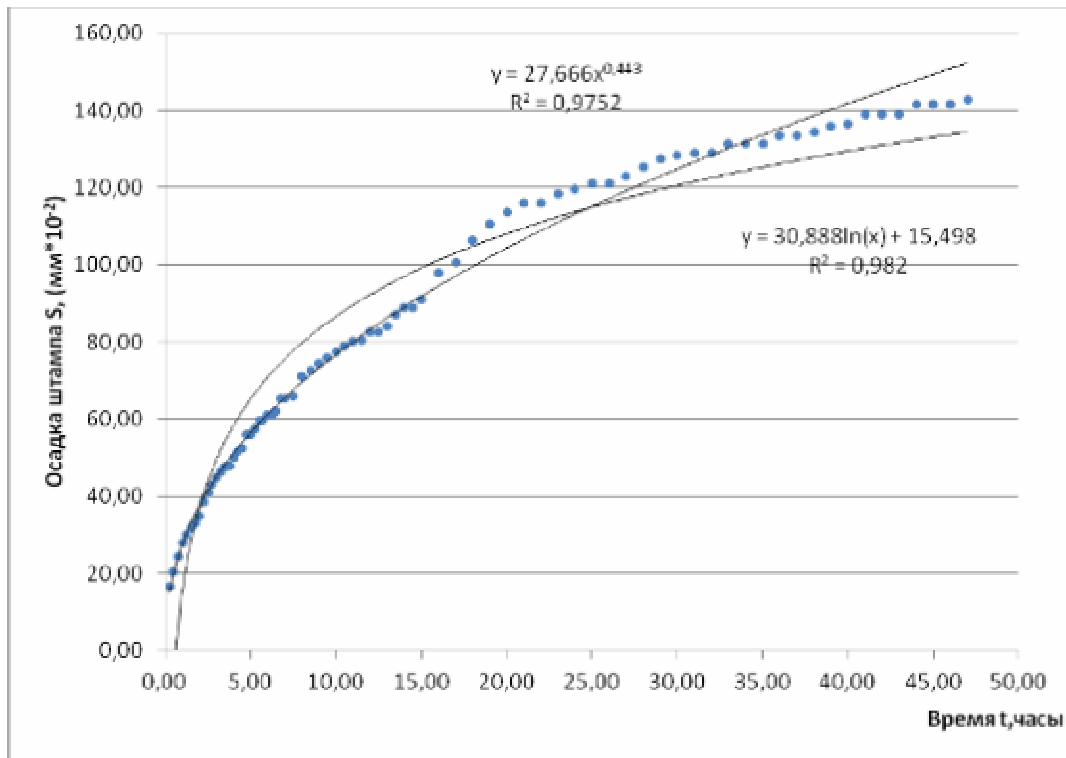


Рис. 5. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,1$ МПа, амплитуде колебаний $a=10$ мкм

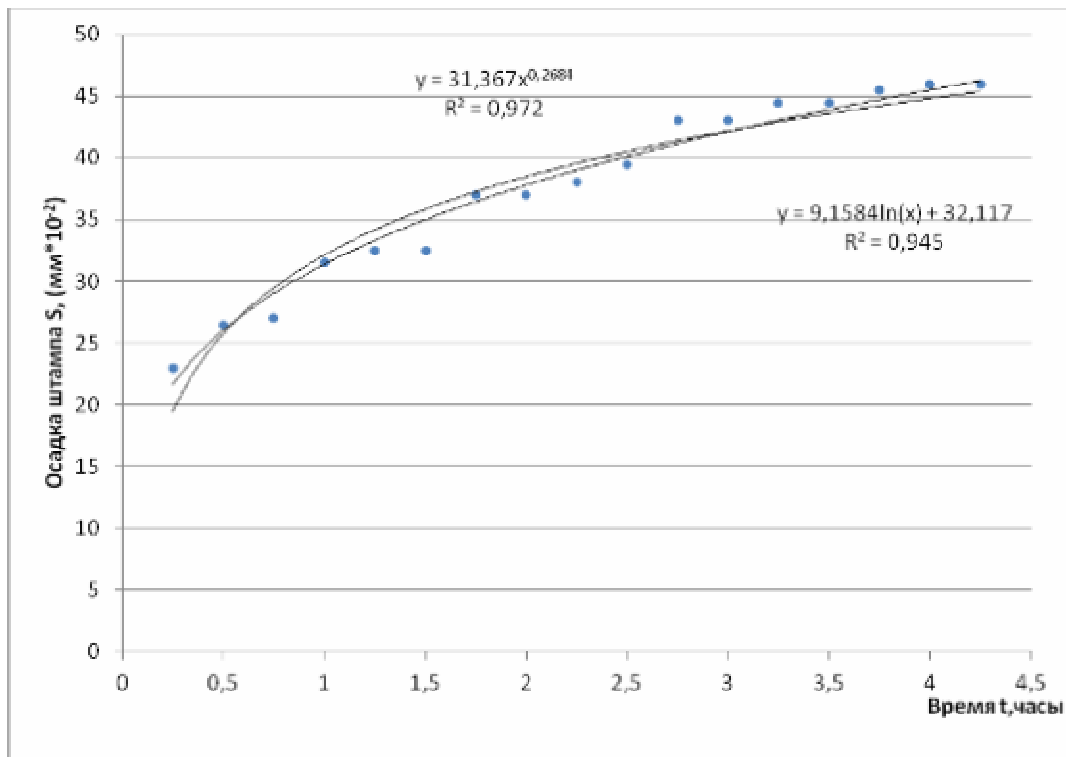


Рис. 6. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,25$ МПа, амплитуде колебаний $a=5$ мкм

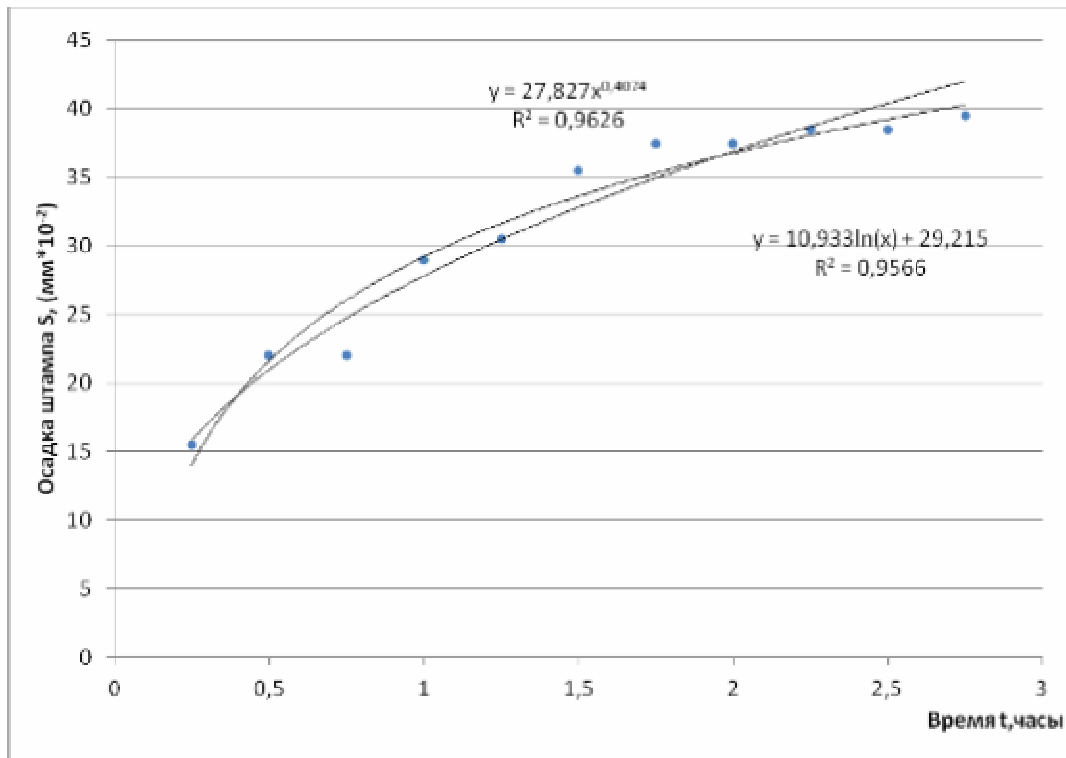


Рис. 7. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,25$ МПа, амплитуде колебаний $a=10$ мкм

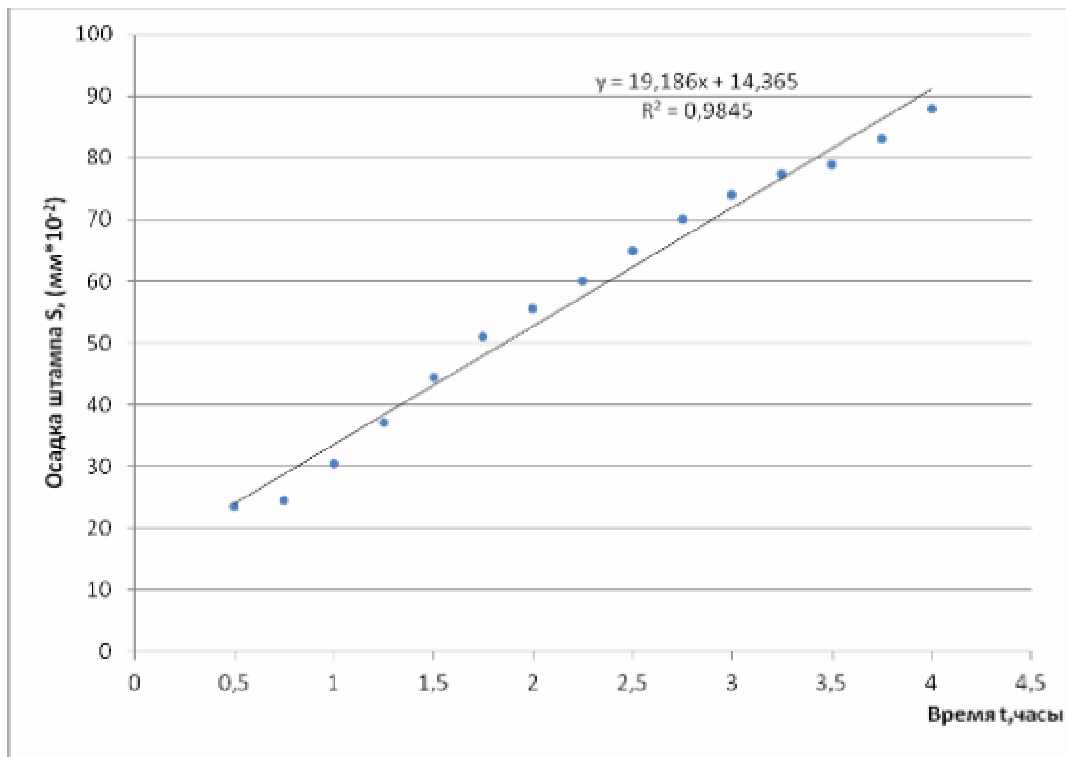


Рис. 8. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,25$ МПа, амплитуде колебаний $a=20$ мкм

10. Эксперимент № 10. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,3$ МПа, амплитуда колебаний $a=5$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей логарифмической функции (см. рис. 9).

11. Эксперимент № 11. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,3$ МПа, амплитуда колебаний $a=10$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей логарифмической функции (см. рис. 10).

12. Эксперимент № 12. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,3$ МПа, амплитуда колебаний $a=15$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде незатухающей линейной функции (см. рис. 11).

13. Эксперимент № 13. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=20$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,05$ МПа, амплитуда колебаний $a=5$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей логарифмической функции. При попытке аппроксимировать степенной функцией операция выполняется некорректно (см. рис. 12).

14. Эксперимент № 14. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=20$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,05$ МПа, амплитуда колебаний $a=10$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей степенной функции (см. рис. 13).

15. Эксперимент № 15. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=20$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,05$ МПа, амплитуда колебаний $a=15$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде незатухающей линейной функции (см. рис. 14).

Следующая серия экспериментов была проведена для нескольких комбинаций статических и динамических нагрузок с такими же грунтовыми условиями (грунт № 1), однако штамп устанавливался на поверхность грунта без заглубления.

16. Эксперимент № 16. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,1$ МПа, амплитуда колебаний $a=5$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей степенной функции (см. рис. 15).

17. Эксперимент № 17. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,1$ МПа, амплитуда колебаний $a=10$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей логарифмической функции (см. рис. 16).

18. Эксперимент № 18. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний $f=10$ Гц, статическое давление под штампом $P=0,1$ МПа, амплитуда колебаний $a=15$ мкм, при этом дополнительная осадка от динамической нагрузки проявляется в виде затухающей логарифмической функции (см. рис. 17).

19. Эксперимент № 19. Грунт № 1, частота вынужденных гармонических колебаний – статическое давление под штампом – $P=0,25$ МПа, при попытке провести эксперимент без заглубления штампа последний получил значительные осадки (до 65 мм) уже при загрузке статической нагрузкой. Эксперимент был прекращен.

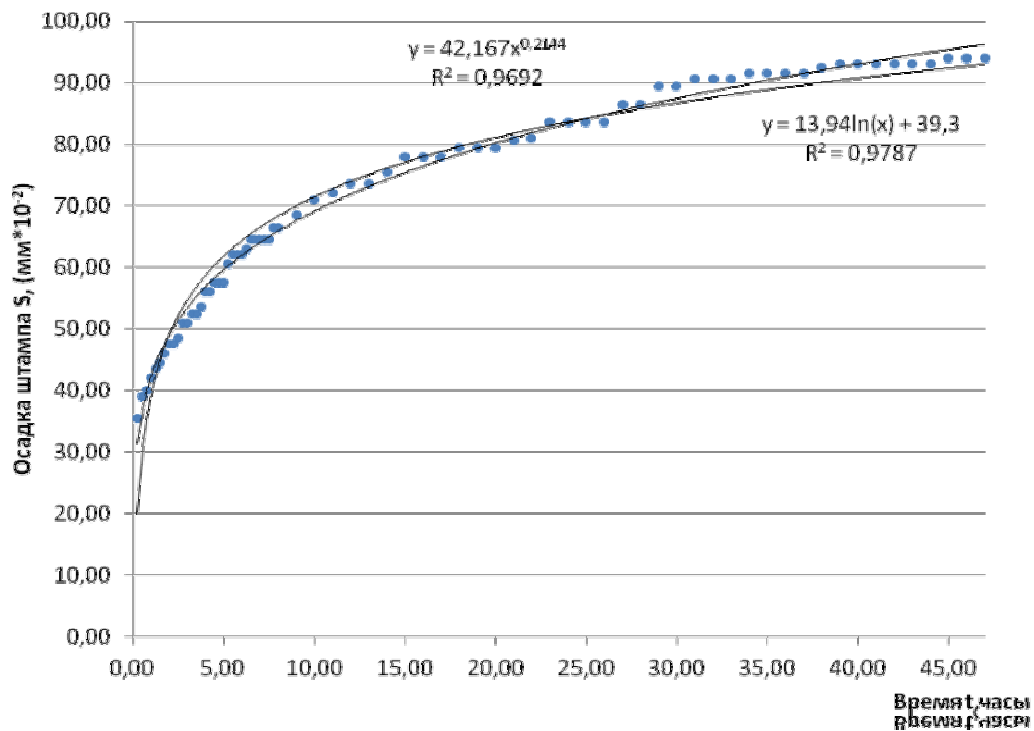


Рис. 9. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,3$ МПа, амплитуде колебаний $a=5$ мкм

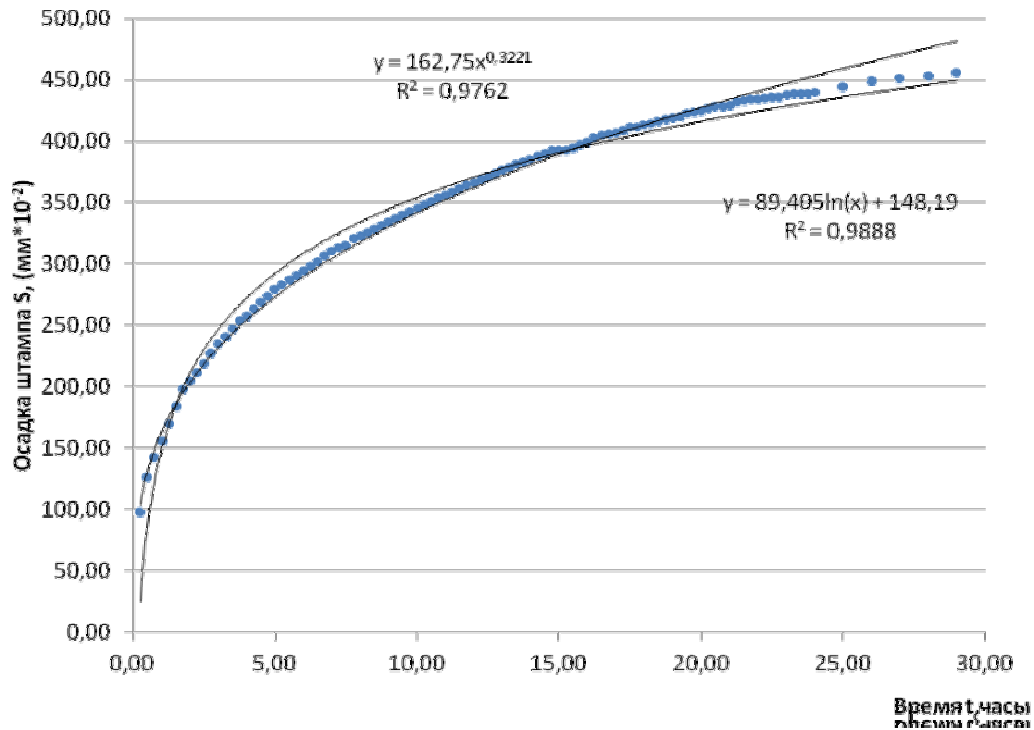


Рис. 10. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,3$ МПа, амплитуде колебаний $a=10$ мкм

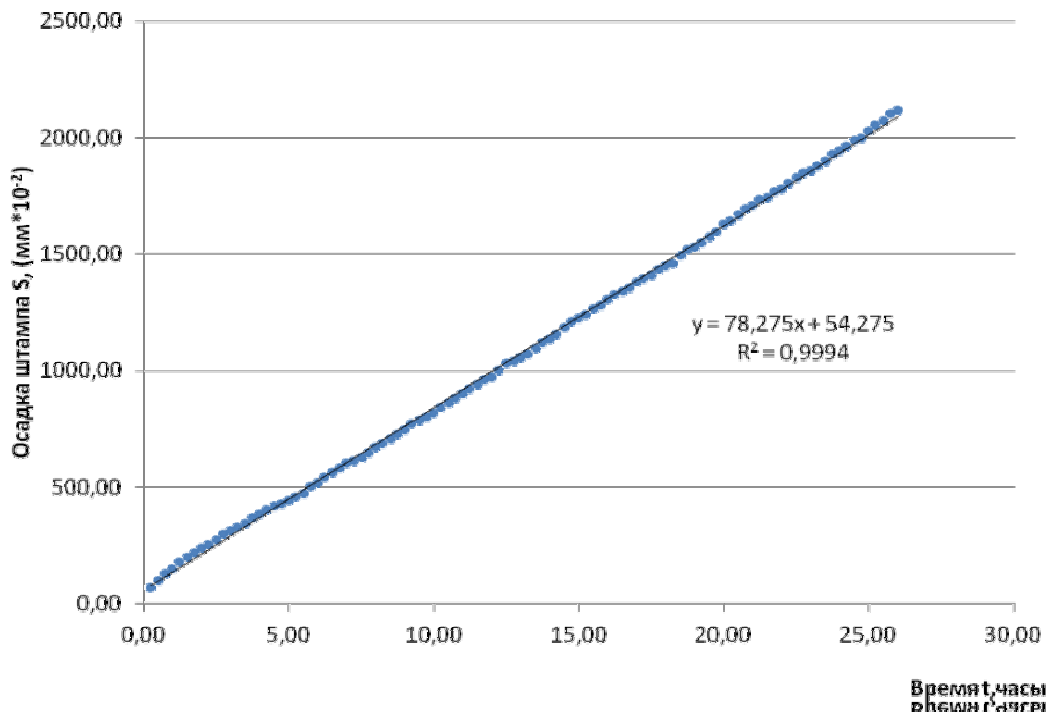


Рис. 11. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,3$ МПа, амплитуде колебаний $a=15$ мкм

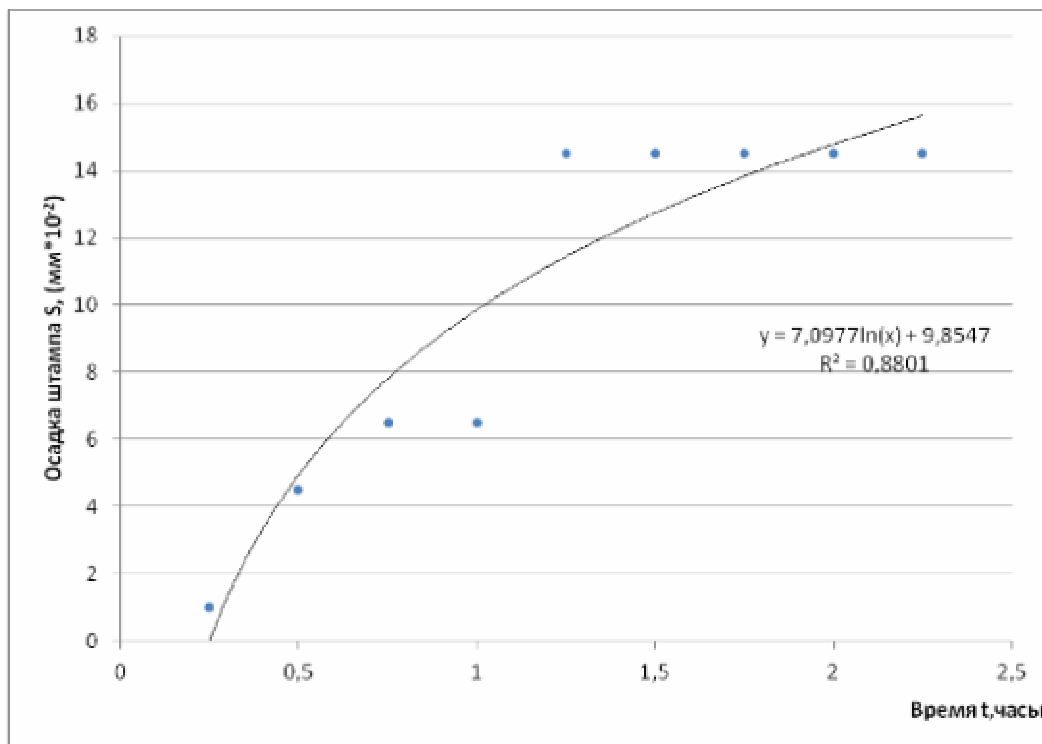


Рис. 12. График развития осадки во времени при частоте $f=20$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,05$ МПа, амплитуде колебаний $a=5$ мкм

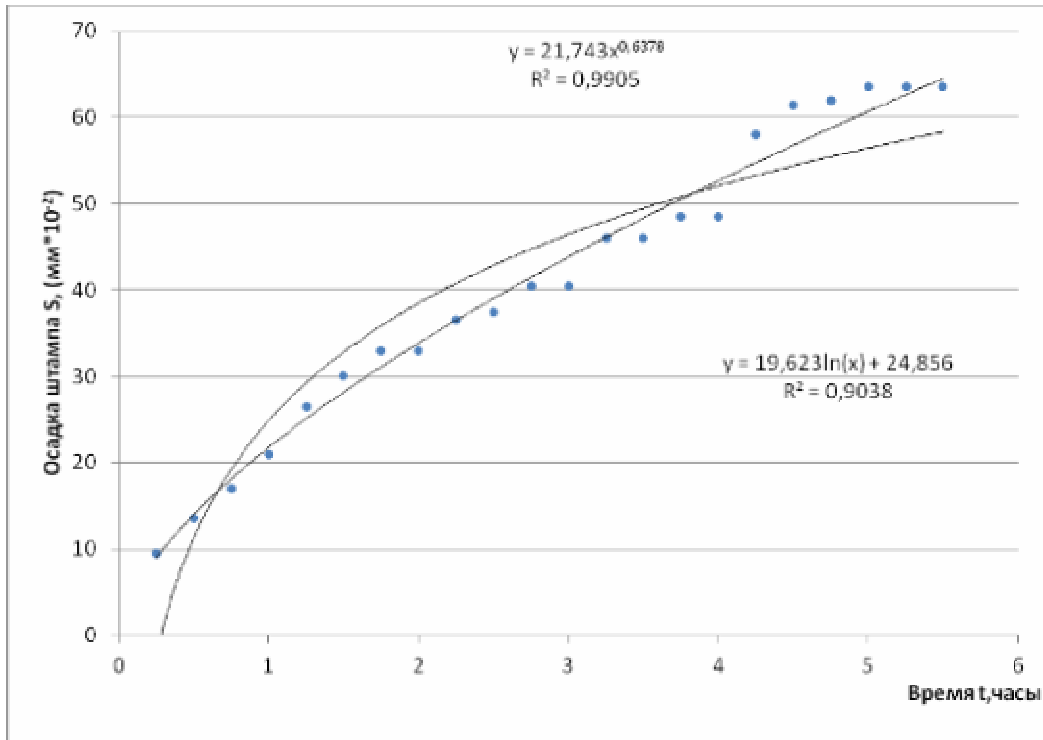


Рис. 13. График развития осадки во времени при частоте $f=20$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,05$ МПа, амплитуде колебаний $a=10$ мкм

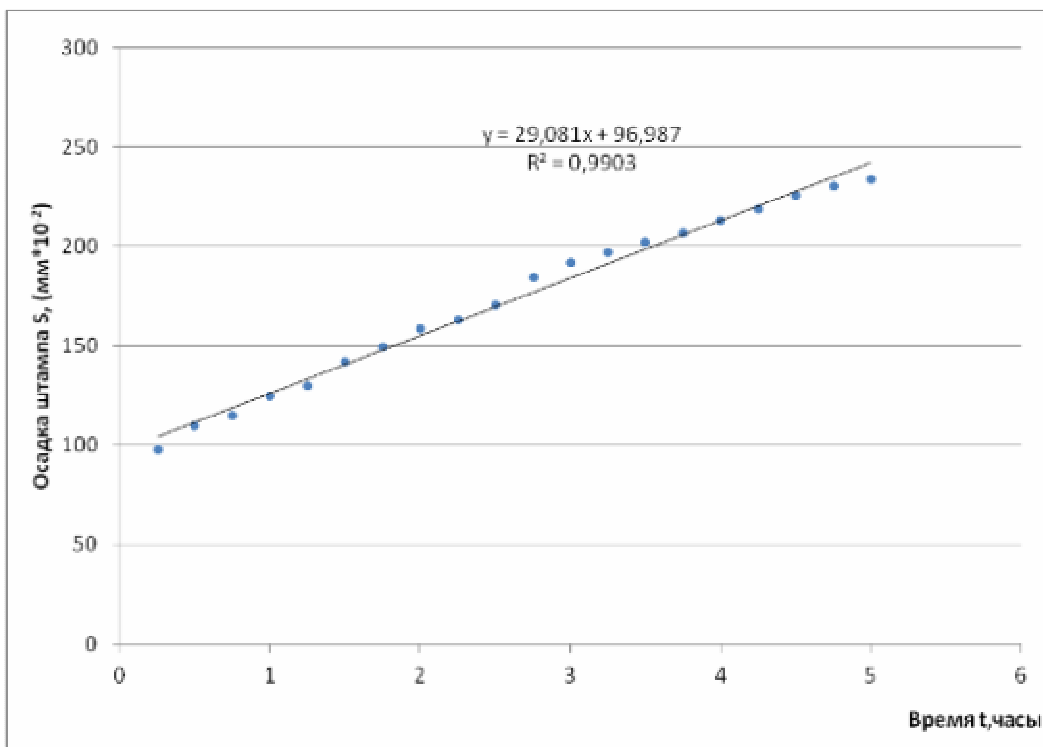


Рис. 14. График развития осадки во времени при частоте $f=20$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,05$ МПа, амплитуде колебаний $a=15$ мкм

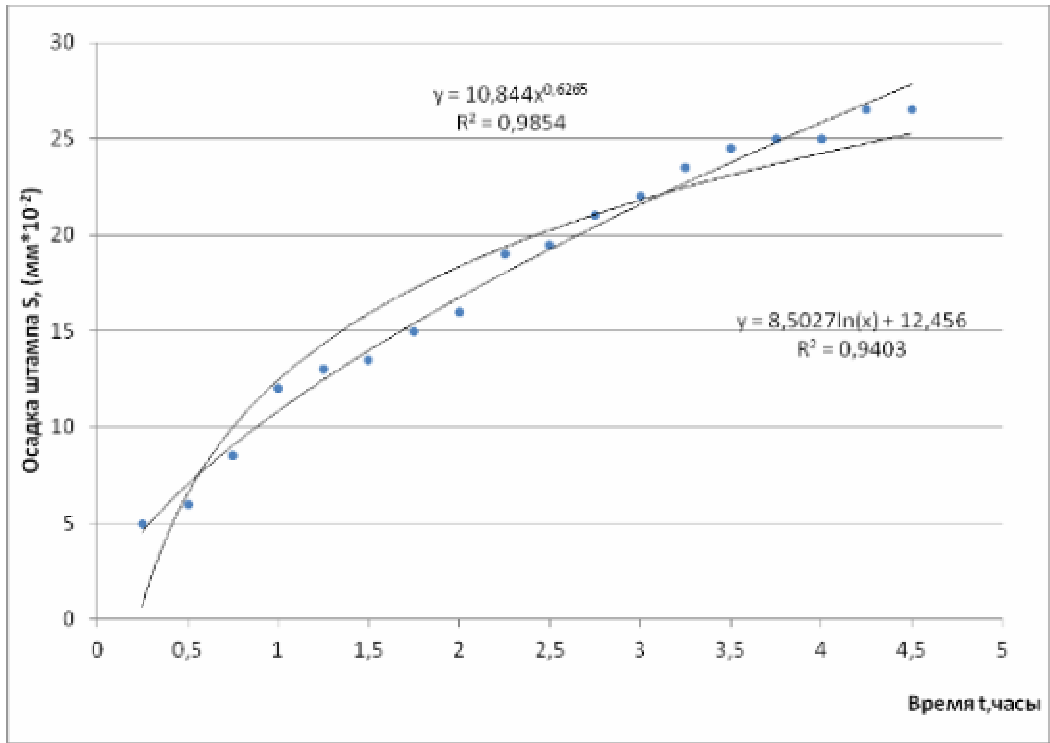


Рис. 15. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,1$ МПа, амплитуде колебаний $a=5$ мкм

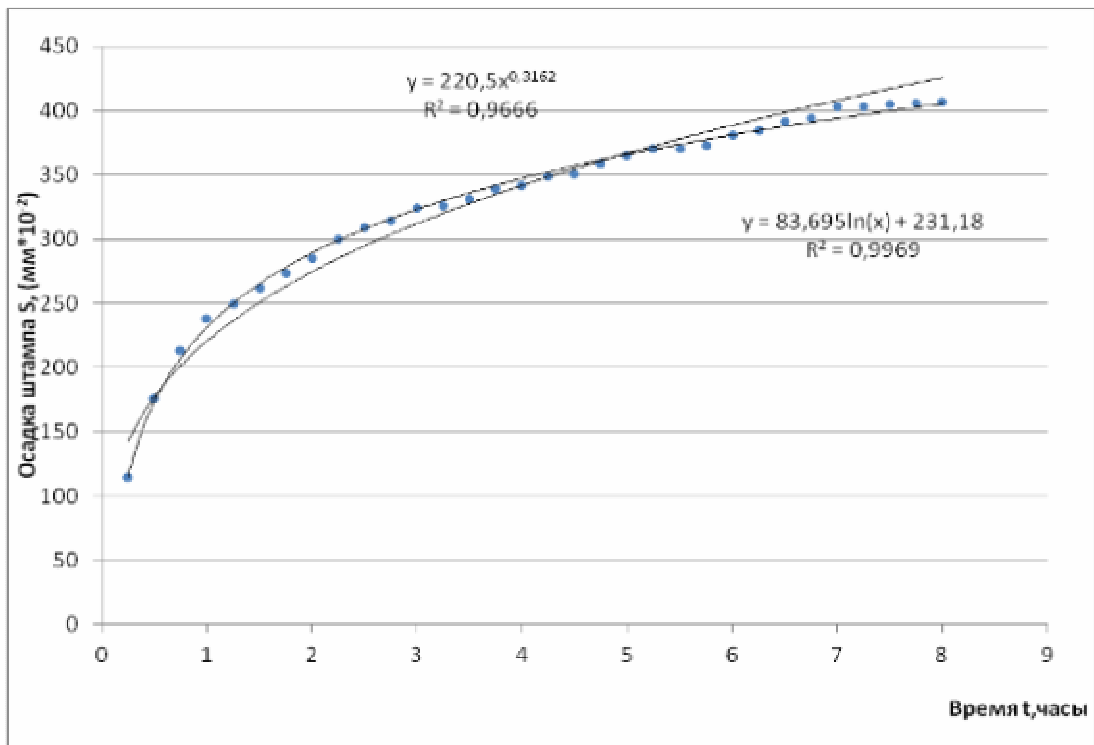


Рис. 16. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,1$ МПа, амплитуде колебаний $a=10$ мкм

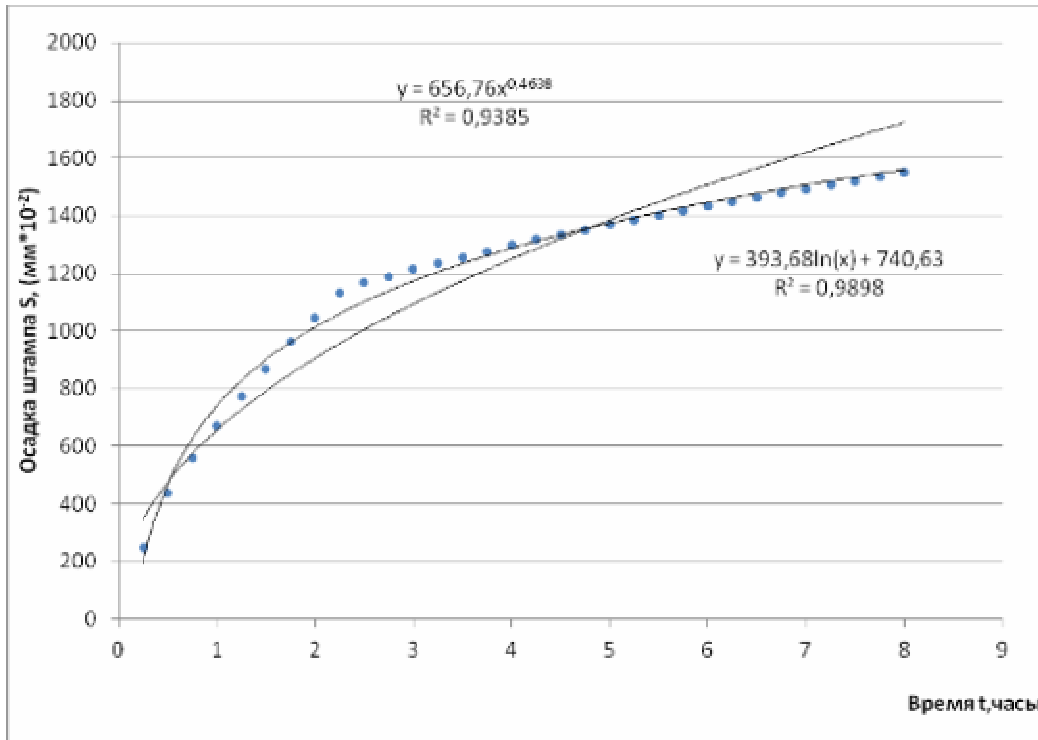


Рис. 17. График развития осадки во времени при частоте $f=10$ Гц, статическом давлении по подошве штампа $P=0,1$ МПа, амплитуде колебаний $a=15$ мкм

Серия полевых испытаний. За основу для проведения анализа были взяты журналы динамических виброштамповых испытаний, выполненных ранее для частот, близких к 50 Гц, которые проведены на двух площадках с различными грунтовыми условиями. Методика испытаний на площадке № 1 следующая: динамическая нагрузка ограничена заданной величиной, она не менялась на протяжении всего эксперимента; статическая нагрузка последовательно увеличивалась ступенями по мере достижения критерия условной стабилизации на каждой предыдущей ступени. За условную стабилизацию динамической ступени принята скорость осадки штампа не более 0,02 мм за 3 ч непрерывного приложения динамической нагрузки. Статическую нагрузку увеличивали до появления признаков отсутствия затухания осадки. Эта методика отличается от принятой для лабораторных виброштамповых исследований, но соответствует рекомендациям [19].

Грунтовые условия площадки № 1 – пески мелкие, 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 (далее – грунт № 2). Грунтовые условия площадки № 2 – пески средней плотности, водонасыщенные; 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 (далее – грунт № 3). Методика испытаний на площадке № 2 аналогична лабораторным виброштамповым испытаниям.

Детально результаты полевых исследований изложены в работе [21], а ниже предлагаются обобщения как полевых, так и лабораторных испытаний. Экспериментально установлено развитие осадки во времени при разных комбинациях частоты, амплитуды вынужденных колебаний и статического давления под штампом

следующим образом. После стабилизации осадки основания от статической нагрузки и последующего включения вибратора в зависимости от амплитуды его вынужденных колебаний может начаться дополнительная к уже реализованной от статического давления осадке. Характер развития этой осадки во времени также зависит от величины амплитуды колебаний штампа. А вот от частоты колебаний возможность появления и характер развития дополнительной осадки основания во времени не зависит, однако этот параметр регламентирует скорость ее развития по установленному закону.

В опытах с неизменными величинами давления P_{cm} , амплитуды колебаний a , частоты колебаний f согласно нашим исследованиям имеет место развитие осадки во времени следующим образом:

- на начальном этапе характер развития корректно аппроксимируется степенной функцией;

- при достижении времени $t > 24 - 30$ ч (чем выше частота, тем раньше) ее вид приобретает явно выраженный логарифмический характер. Поэтому следует уточнить режим динамических этапов экспериментов для сбора достаточного количества данных, чтобы установить итоговую зависимость развития осадки во времени. Предлагается выделить осадку начального этапа, которая лучше аппроксимируется степенной функцией, и осадку этапа, по достижению которого ее развитие во времени приближается к логарифмическому закону. Тогда общую эмпирическую закономерность дополнительной осадки для случая ее затухающего характера возможно представить в виде системы уравнений [22]

$$\begin{cases} S(t) = k_1 t^n + c_1, t < t_{nep}; \\ S(t) = k_2 \ln(t) + c_2, t \geq t_{nep}. \end{cases} \quad (1)$$

где $S(t)$ – величина осадки от действия динамической нагрузки; k_1 ; k_2 ; c_1 ; c_2 – эмпирические коэффициенты и постоянные, определяемые из эксперимента; t – переменная времени; t_{nep} – момент времени, при котором аппроксимирующие кривые из системы (1) фиксируют свою точку пересечения (см. рис. 1; 2; 4 – 7; 9; 10; 12; 13; 15 – 17).

Общую осадку от статической и динамической нагрузки логично определять в виде их суммы

$$S = S_{cm} + S(t). \quad (2)$$

По характеру развития осадка основания виброштампа бывает:

- затухающей – ее развитие во времени наиболее корректно описывают система уравнений (1) или логарифмическая функция, если нас не интересует начальный этап ее развития (см. рис. 1; 2; 4 – 7; 9; 10; 12; 13; 15 – 17 и результаты исследований в работе [21]);

- с возрастанием амплитуды колебаний скорость осадки увеличивается и в конечном итоге при достижении некоторой величины переходит в незатухающую, тогда ее аппроксимируют линейной функцией (см. рис. 3; 8; 11; 14 и результаты исследований в работе [21]). Такой характер осадки зафиксирован и виброштамповыми, и полевыми испытаниями не зависимо от принятой методики их проведения.

Выводы. После стабилизации деформации песчаного основания фундамента от статической нагрузки при последующем приложении динамической возможно развитие его дополнительной осадки. Если она описывается функцией, указывающей на затухание осадки во времени, то прогноз конечной величины осадки сводится к определению зависимости, по которой развивается осадка, при достаточном для

аппроксимации количестве замеров и с экстраполяцией определенной функции на необходимый временной интервал. При развитии этой деформации по линейному закону (незатухающая осадка) она достигает значительных величин уже в считанные часы от начала опыта, ее скорость постоянна на всем протяжении опыта. Устройство фундаментов на естественном основании с такой комбинацией частоты, амплитуды колебаний и статической нагрузки исключено ввиду получения сверхнормативных осадок фундаментов после пуска в работу источника вибраций.

Заглубление штампа существенно снижает его осадку при действии как статической, так и динамической нагрузок, оптимальные результаты достигались при заглублении штампа не менее, чем на его ширину b .

Так как с уменьшением частоты вынужденных колебаний снижается и скорость осадки штампа, доказана необходимость увеличения интервала эксперимента на каждом «динамическом» этапе с 4 – 8 ч до 30 – 50 ч при частотах колебаний 20 и 10 Гц для корректного прогноза конечной осадки основания по эмпирическим зависимостям.

Литература

1. Осипов В.И. Динамическое разжижение водонасыщенных грунтов: природа и факторы, его определяющие / В.И. Осипов // Инженерная геология. – 1988. – № 2. – С. 3 – 31.
2. Кушнер С.Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений / С.Г. Кушнер. – Запорожье: Запорожье, 2008. – 496 с.
3. Van Impe W. On the design, construction and monitoring of embankments on soft soil in underwater conditions / W. Van Impe, R. Verastegui Flores – SPtb.: Georeconstruction – Fundamentproject, 2007. – 164 p.
4. Braja M. Das Shallow foundations. Bearing capacity and settlement / Braja M. Das. – CRC Press. Taylor & Francis Group, 2009. – 327 p.
5. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення проектування, зі змінами №1 і 2. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 161 с.
6. Александрович В.А. Установка для изучения поведения грунтов при динамических воздействиях / В.А. Александрович // Збірник наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – Вип. 28. – С. 14 – 16.
7. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет / О.А. Савинов. – Л.: Стройиздат, 1979. – 200 с.
8. Ставницер Л.Р. Сейсмостойкость оснований и фундаментов: монография / Л.Р. Ставницер. – М.: АСВ, 2010. – 448 с.
9. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П.Л. Иванов. – М.: Высш. шк., 1985. – 352 с.
10. Кудрявцев И.А. Влияние вибрации на основания сооружений / И.А. Кудрявцев. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 274 с.
11. Lange D. Comparing Vibratory and Impact Laboratory Compaction Methods / D. Lange, G. Fanourakis // Proc. of 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, 2009. – Amsterdam: JOS Press, 2009. – P. 93 – 96.
12. Минаев О.П. Развитие виброметода уплотнения грунтов в строительстве / О.П. Минаев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 5. – С. 18 – 21.
13. Bahadori H. Investigation on the dynamic propertied sand-tire chips mixture by shaking table / H. Bahadori, S. Manafi // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – P. 883 – 886.
14. Трофимчук А.Н. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред / А.Н. Трофимчук, А.М. Гомилко, О.А. Савицкий. – К.: Наук. думка, 2003. – 230 с.

15. *Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / В.А. Ильичев, Р.А. Мангушев и др. – М.: АСВ, 2014. – 728 с.*
16. *Вплив вібраційного режиму котків на ущільнення малозв'язних розкритих порід / Ю.Л. Винников, В.І. Коваленко, М.О. Харченко, Р.М. Лопан // Збірник наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 3 (25), Т. 1. – С. 40 – 49.*
17. *Казарновский В.Д. О механизме накопления остаточных деформаций в уплотненных песчаных грунтах под воздействием кратковременных нагрузок / В.Д. Казарновский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2008. – № 5. – С. 2 – 4.*
18. *Александрович В.А. Испытания виброустойчивости песчаных оснований фундаментов / В.А. Александрович, В.Г. Таранов // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво). – Вип. 75: в 2-х кн.: Кн. 1. – К.: НДІБК, 2011. – С. 464 – 469.*
19. *Рекомендации по проведению полевых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов турбоагрегатов. – М.: ПЭМ ВНИИИС, 1986. – 30 с.*
20. *Aleksandrovych V. Structure-soil massif system behavior features under static and dynamic loads / V. Aleksandrovych at al. // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – P. 1627 – 1629.*
21. *Александрович В.А. Анализ некоторых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов с точки зрения современных достижений / В.А. Александрович // Зб. наук. праць (Галузеве машинобуд., буд-во). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 38. – С. 15 – 23.*
22. *Aleksandrovych V. Concerning the Vibrocreep Issue / V. Aleksandrovych // Proc. of the 22nd European Young Geotechnical Engineers Conf. – Gothenburg. – 2012. – P. 173 – 178.*

© В.А. Александрович, Ю.Л. Винников
Надійшла до редакції 15.05.2015