



АЛЕКСАНДРОВИЧ ВАДИМ АНАТОЛЬЕВИЧ

Ассистент кафедри механіки ґрунтів, фундаментів і інженерної геології Харківського національного університету городского хозяйства имени А.Н. Бекетова. Член Международного общества механики грунтов и геотехнического строительства.

Основные направления научной деятельности: экспериментальные и теоретические исследования поведения грунтовых оснований под действием различных комбинаций динамических и статических нагрузок.

Автор 10 научных работ.
E-mail: vaaleksandrovich@mail.ua

УДК 624.131.55

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ВИБРОПОЛЗУЧЕСТИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЧАСТОТЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

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

Представлено схему лабораторної установки для вивчення віброповзучості ґрунтів при динамічних впливах від машин з частинами, що обертаються. Розглянуто результати експериментальних віброштампових досліджень у лабораторних і польових умовах. Встановлено залежності виникнення та розвитку додаткового осідання піщаних основ фундаментів від амплітуди та частоти динамічного навантаження, що підпорядковується гармонійному закону, при відповідній величині статичного тиску під штампом. Виділено два типи осідань – затухаюче та незатухаюче – залежно від закону, яким їх найбільш коректно апроксимують. Розроблено програмне забезпечення для обробки експериментальних даних, отримання закону розвитку осідання віброповзучості та його прогнозування.

Представлена схема лабораторной установки для изучения виброползучести грунтов при динамических воздействиях от машин с вращающимися частями. Рассмотрены результаты экспериментальных виброштамповых испытаний в лабораторных и полевых условиях. Установлены зависимости возникновения и развития дополнительной осадки песчаных оснований фундаментов от амплитуды и частоты динамической нагрузки, которая подчиняется гармоническому закону, при соответствующей величине статического давления под штампом. Выделено два типа осадок – затухающая и незатухающая – в зависимости от закона, которым их наиболее корректно аппроксимировать. Разработано программное обеспечение для обработки опытных данных, получения закона развития осадки виброползучести и ее прогноза.

The design of laboratory facility for soil behavior analysis under the dynamic impact by machines with rotary parts has been presented. The results of the experimental vibrostamp tests in vitro and in the field have been considered. The appearance and progress with time of supplementary settlement of sandy foundation soils under harmonic loads, depending on amplitude and frequency of harmonic dynamic load by corresponding value of static pressure under stamp, have been assigned. Two different kinds of vibrocreep settlements have been allocated – decaying and sustained, depending on the law they could be approximated most reasonably. Software has been developed to handle the experimental data, gain the law of vibrocreep settlement development and forecast of its value.

Постановка проблеми. Динамическая нагрузка, передаваемая от работающих машин через фундамент основанию, в ряде случаев способна вызвать длительную медленно затухающую осадку фундамента. Такое явление, именуемое виброползучестью, имеет место, в частности, если основание сложено среднезернистым или мелким песком (водонасыщенным, влажным и даже сухим) различной плотности, или пластичной супесью, когда амплитуда вибрации превышает при действующем статическом давлении некоторую величину, называемую критической.

Анализ последних исследований и публикаций. Экспериментальное исследование уплотнения песка в компрессионном приборе под воздействием собственного веса и вертикальной вибрации впервые выполнил Д.Д. Баркан [1]. Он установил, что рыхлый песок уплотняется уже при незначительном ускорении колебаний (десятые доли ускорения свободного падения g). Предварительно провибрированный при некотором ускорении песок не уплотняется более при последующем вибрировании с меньшим ускорением. В качестве критерия динамического воздействия на грунт предложено ускорение колебаний (виброускорение). Предельная величина виброускорения, при которой начинается уплотнение, Д.Д. Баркан назвал порогом виброуплотнения. О.А. Савинов [2] предлагает, по аналогии со статикой, различать три фазы деформирования грунта основания в зависимости от интенсивности совместного статического и динамического воздействия на фундамент. Первая, начальная, имеет место при относительно небольших статических и динамических нагрузках, осадка поверхности при этом происходит в основном за счет уменьшения пористости рыхлых и средней плотности песчаных грунтов. Вторая фаза характеризуется возникновением в толще грунта достаточно развитых областей пластических деформаций. В этом случае даже при небольших динамических воздействиях возникают существенные осадки с тенденцией к их увеличению и значительному удлинению сроков стабилизации [3]. Эти осадки могут происходить как в песчаных (в т. ч. и плотных), так и в глинистых грунтах. В тре-

твей фазе осадки носят катастрофический характер и протекают с большой скоростью. Осадки третьей фазы могут происходить при потере устойчивости, характерной для статического разрушения основания (при больших статических и малых динамических нагрузках), или, когда фундамент погружается в грунт как в вязкую среду (при значительных динамических воздействиях). При этом погружение тем более значительно, чем больше способность грунта менять свои свойства при динамических нагрузках.

Важным аспектом проблемы изучения осадок, соответствующих третьей фазе, является вероятность возникновения явления разжижения водонасыщенных песков, рассмотрению которого посвящены работы М.Н. Гольдштейна [4], Н.Н. Маслова [5], П.Л. Иванова [6], Л.А. Эйслера [7], Б.И. Дидуха [8] и др.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья. В большинстве этих работ, однако, основное внимание уделяется рассмотрению особенностей поведения грунта непосредственно при разжижении, тогда как для инженерной практики наиболее существенное значение имеет выяснение условий перехода грунта в разжиженное состояние и в первую очередь – определение критических характеристик вибрации, при которых может начаться процесс уплотнения.

Отсюда **цель исследования** – установить зависимости появления дополнительной осадки водонасыщенных песчаных оснований фундаментов под машины при динамических нагрузках, подчиняющихся гармоническому закону в диапазоне частот 5-50 Гц. При этом решены задачи: 1) по авторской методике проведены лотковые испытания песчаных грунтов жестким штампом при динамических нагрузках; 2) экспериментально исследовано влияние амплитуды и частоты динамической нагрузки при соответствующей величине статического давления под штампом на конечную осадку основания; 3) усовершенствована методика расчета осадки водонасыщенных песчаных оснований фундаментов с динамическими нагрузками.

Изложение основного материала исследования. Исследования проводятся при помощи установки, созданной на базе уникального лотка в ХНУГХ им. А.Н. Бекетова. Внутренние размеры лотка 1,8x1,8x1,8 м, он оснащен тельфером грузоподъемностью 500 кг для облегчения монтажа-демонтажа экспериментальной установки (рис. 1). Для водонасыщения-осушения испытываемого грунта на дне лотка, под грунтом, устроен дренаж, имеющий входы (краны) для подключения гибкого шланга, соединяемого с системой централизованного водоснабжения. Контроль отметки воды в лотке обеспечивается при помощи гидроуровня (рис. 2).

В состав установки входит виброштамп (рис. 3) – пространственная конструкция включающую в себя стоящий на грунте металлический штамп размерами 200x400 мм (1), жестко соединенный с плитой, на которую устанавливают вибратор. Вибратор состоит из электродвигателя постоянного тока (3) и дебаланса (4), в котором имеются отверстия для крепления дополнительных наборных грузов, позволяющих регулировать амплитуду колебаний. Пространство между нижней и верхней плитами формируется при помощи стоек, в верхней части которых, для исключения инерционности статической нагрузки помещены винтовые пружины, выполняющие роль виброизоляторов (2).

Статическая нагрузка прикладывается при помощи гидравлического домкрата, который размещается на плите над вибратором и опирается в упорную балку (рис. 4).

Давление в гидравлической системе домкрата создает-

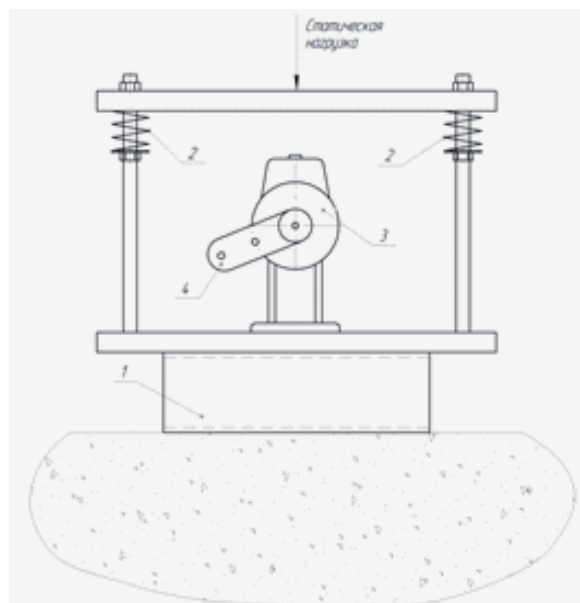


Рис.3. Схема виброштампа

ся при помощи насосной станции, на которой расположен манометр (рис. 5).

Для управления числом оборотов электродвигателя была разработана электрическая схема, работающая по принципу ШИМ (широтно-импульсная модуляция), позволяющая совершать плавное управление оборотами электродвигателя постоянного тока в довольно широких пределах. Установка требуемой частоты колебаний проводится вместе с приложенной заданной статической нагрузкой путем подбора оборотов двигателя при помощи ШИМ устройства управления, а амплитуды – путем изменения геометрических параметров дебаланса изменением массы и точки закрепления дополнительных наборных грузов (рис. 6).

Дебалансы крепятся на вал двигателя вибратора, к ним, при помощи болтовых соединений, могут быть добавлены дополнительные грузики, для увеличения амплитуды колебаний. Номер дебаланса и количество дополнительных грузиков определяется путем подбора, до проведения основного эксперимента для каждой комбинации статического давления и частоты колебаний, которая будет задействована по плану предстоящего опыта.

Осадки штампа измеряются двумя прогибомерами 6-ПАО связанными с реперной системой; показания прогибомеров снимаются при помощи двух web-камер марки Gembird CAM66U изображение, с которых передается на экран ПК (рис. 7). Амплитуду и частоту колебаний штампа фиксируют комплектом аппаратуры, включающим в себя датчик перемещений Д21А, виброметр ВИП-2 (рис. 8) и цифровой осциллограф Oscill (рис. 9).

Виброметр ВИП-2, имеющий сертификат поверки государственной метрологической службы позволяет контролировать амплитуду колебаний виброштампа, однако не предоставляет информации о ее частоте. Для контроля частоты колебаний, на «выход» виброметра подключается цифровой осциллограф Oscill, который позволяет выводить данные об амплитуде и частоте колебаний на экран ПК и в случае необходимости их оперативно скорректировать системой управления оборотами электродвигателя вибратора.

Оператор эксперимента задает параметры колебаний при помощи блока управления оборотами электродвигателя вибратора и контролирует их неизменность, а также записывает получаемые параметры колебаний и данные развития осадки во времени в журнал эксперимента для

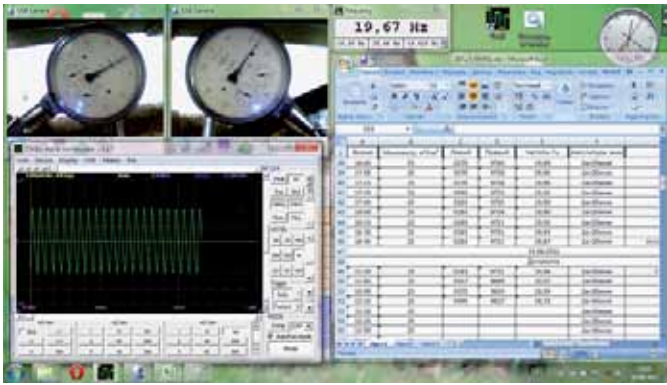


Рис.10. Данные отображаемые на экране ПК.

последующей их обработки (рис. 10).

Лотковые испытания. Исследования развития дополнительной осадки песчаного основания штампа во времени от действия динамических нагрузок проведено с помощью программно-аппаратного комплекса, устройство которого описано выше. 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 [9]. По первой – после передачи на виброштамп заданного статического давления, выдержки до условной стабилизации осадки $S_{ст}$ к нему прикладывают динамическую нагрузку. 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 прикладывалась 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 [9] 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. Детально результаты обработки опытных данных с графическими материалами и значениями коэффициента корреляции эмпирических формул для прогноза развития во времени дополнительных осадок основания штампа представлены в работе [10]. Во всех случаях получена тесная связь опытных данных.

Полевые испытания. В основу 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 (не

менялась на протяжении всего опыта); 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 $0,02 \text{ мм}$ за 3 ч непрерывного приложения динамической нагрузки. Статическую нагрузку увеличивали до появления признаков отсутствия затухания осадки. Эта методика отлична от принятой в лотковых виброштамповых исследованиях, но соответствует рекомендациям [9].

Грунтовые условия площадки №1 – пески мелкие, средней плотности, водонасыщенные; плотность $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$; плотность скелета $\rho_d = 1,57 \text{ т/м}^3$; влажность $w = 0,17$; коэффициент пористости $e = 0,69$; угол внутреннего трения $\varphi = 28^\circ$; удельное сцепление $c = 1 \text{ кПа}$; модуль деформации $E = 38 \text{ МПа}$ (далее – грунт № 2). Грунтовые условия площадки №2 – пески средней плотности, водонасыщенные; $\rho = 1,78 \text{ т/м}^3$; $w = 0,18$; $e = 0,675$; $\varphi = 23^\circ$; $c = 0,75 \text{ кПа}$; $E = 22 \text{ МПа}$ (далее – грунт № 3). Методика испытаний на площадке №2 аналогична лабораторным виброштамповым испытаниям.

Детально результаты полевых исследований изложены в работе [11], 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 таким 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, осадка. 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 $P_{ст}$ 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 $t > 24-30 \text{ ч}$ (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 [12]

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

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; $t_{неп}$ – момент времени, при котором аппроксимирующие кривые из системы (1) фиксируют свою точку пересечения.

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;
- с возрастанием амплитуды колебаний скорость осадки увеличивается и, в конечном итоге, при достижении некоторой величины переходит в незатухающую, тогда ее аппроксимируют линейной функцией. Такой характер осадки зафиксирован как виброштамповыми, так и полевыми испытаниями не зависимо от принятой методики их проведения.

Для автоматизации расчета осадки основания под действием динамической нагрузки создано программное средство «Graph», предназначенное для анализа данных развития осадки виброползучести во времени, на базе экспериментальных данных, которое позволяет автоматически определять и учитывать изложенные выше нюансы поведения осадки во времени, а также прогнозировать заключительный динамический этап, параметры колебаний которого приводят к незатухающей осадке. Программное средство позволяет осуществлять весь спектр анализа и прогнозирования осадки во времени.

Данная задача состоит в выполнении следующих этапов:

1. Ввод исходных данных.

Осуществляется в основном окне программы (рис. 11). Позволяет, как открывать существующие наборы данных, так и создавать новые. Для создания нового проекта необходимо задать количество строк в таблице и заполнить ее исходными данными проведенного эксперимента. При этом следует учесть, что длительность задается в виде интервала времени, а не конкретного текущего значения времени. Также в случае статического этапа значение амплитуды должно равняться 0.

2. Графический анализ исходных данных и прогнозирование осадки во времени (рис. 12 и рис. 13).

В окне графического анализа можно:

- сохранить график в файл (Меню Действия -> Сохранить в файл);
- скопировать в буфер обмена (-> Копировать в буфер);
- прогнозировать значения осадки. Для этого необходимо выбрать в выпадающем списке (Этапы осадки) соответствующий этап. На полученном графике точка пересечения степенной и логарифмической кривой обозначена красной пунктирной линией. После этого задать время прогнозирования (в часах) и нажать на кнопку (Прогноз);
- формирование отчета в формате MS Word. Экспортировать отчет в MS Word (-> Экспорт в MS Word). Позволяет получить полный отчет о полученных результатах.

ВЫВОДЫ:

Изложенные исследования свидетельствуют про решение научной задачи установления взаимосвязи между появлением осадки виброползучести песчаных оснований фундаментов под машины с гармоническими динамическими нагрузками, ее характера развития во времени при различ-

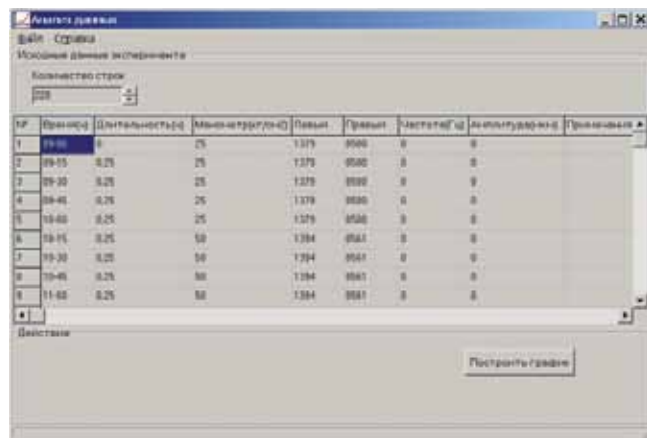


Рис.11. Основное окно программного средства «Graph» при заполнении или просмотре журнала испытаний.

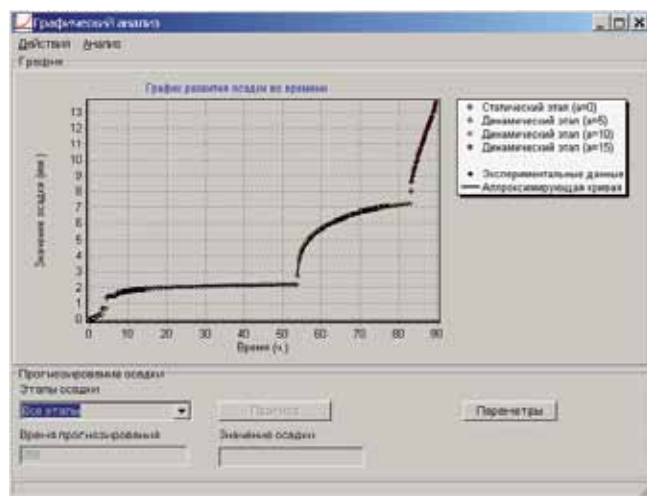


Рис.12. Окно графического анализа программного средства «Graph»

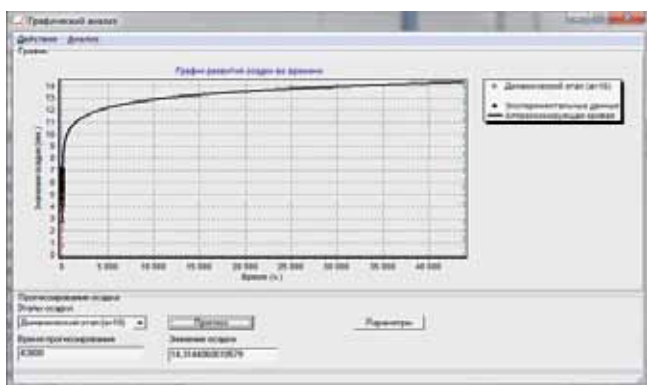


Рис.13. Окно прогноза осадки программного средства «Graph».

ных комбинациях, прикладываемых к нему нагрузок – статического давления P, амплитуды колебаний a и частоты f, что позволяет сделать выводы:

1. Путем комплексных исследований появления и развития во времени виброползучести песчаных оснований при действии динамических нагрузок, подчиняющихся гармоническому закону, получен достаточный объем данных развития осадки во времени и параметров действующих динамических нагрузок при различных величинах статического давления по подошве штампа.
2. 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, осадка. Характер ее развития во времени также зависит от величины амплитуды колебаний штампа, а от частоты колебаний возможность появления и характер развития дополнительной осадки основания во времени не зависит, но этот параметр регламентирует скорость ее развития по установленному закону.

3. По характеру развития осадки основания виброштампа бывает:

- затухающей – ее развитие во времени наиболее корректно описывают система уравнений или логарифмическая функция, если нас не интересует начальный этап ее развития;
- с возрастанием амплитуды колебаний скорость осадки увеличивается и, в конечном итоге, при достижении некоторой величины переходит в незатухающую, тогда ее аппроксимируют линейной функцией. Такой характер осадки зафиксирован как виброштамповыми, так и полевыми испытаниями не зависимо от принятой методики их проведения.

4. В случае затухающей осадки в опытах с неизменными величинами давления $R_{ст}$, амплитуды колебаний a , частоты колебаний f 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

опытов 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.

5. После стабилизации деформации песчаного основания фундамента от статической нагрузки при последующем приложении динамической возможно развитие 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.

6. Создан программно-аппаратный комплекс исследования поведения грунтов при динамических воздействиях, подчиняющихся гармоническому закону. Разработана оптимальная методика прогноза величины осадки песчаных оснований фундаментов машин с вращающимися частями, на требуемый временной интервал. Так как со снижением 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баркан Д.Д. Динамика оснований и фундаментов. – М: Стройвоенмориздат, 1959. – 316 с.
2. Савинов О.А. Об экспериментальном исследовании свойств на-сыпных грунтов как оснований фундаментов под машины // Труды Л.О. НИИ Минмашстроя, Вып. 1. М.: Стройвоенмориздат, 1949.
3. Швец В.Б. Надежность оснований и фундамента / В.Б. Швец, Б.Л. Тарасов, Н.С. Швец. – М.: Стройиздат, 1980. – 158 с.
4. Вопросы геотехники / под ред. М.Н.Гольдштейна // Труды, №1, М.: Стройиздат, 1953. С. 5 – 140.
5. Маслов Н.Н. Современное состояние и некоторые новые принципы фильтрационной теории динамической устойчивости водонасыщенных грунтов в основании и откосах сооружений / Н.Н. Маслов // Вопросы механики грунтов. – Л.: Госстройиздат, 1958. – №24. – С. 57 – 64.
6. Иванов П.Л. Разжижение песчаных грунтов / П.Л. Иванов. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 153 с.
7. Эйслер Л.А. К вопросу о построении системы уравнений движения водонасыщенного несвязного грунта как многокомпонентной среды / Л.А. Эйслер // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – Л., 1968. – Т. 86. – С. 236 – 246.
8. Дидух Б.И. Разработка практического метода решения задач динамики водонасыщенного грунта / Б.И. Дидух, Д.А. Трифонов-Яковлев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 1974. – №4. С. 24 – 27.
9. Рекомендации по проведению полевых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов турбоагрегатов / Ильичев В.А., Керчман В.И., Таранов В.Г., Хаин В.Я. – М: НИИОСП – ДИИТ, 1986. – 30 с.
10. Александрович В.А. Осадки песчаных оснований штампа от динамических нагрузок, подчиняющихся гармоническому закону / В.А. Александрович, Ю.Л. Винников // 36. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 2 (44). – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С. 161 – 177.
11. Александрович В.А. Анализ некоторых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов с точки зрения современных достижений / В.А. Александрович // 36. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) – Полтава: ПНТУ, 2013. – Вип. 38. – С. 15 – 23.
12. Aleksandrovych V. Concerning the Vibrocreep Issue / V. Aleksandrovych // Proc. of the 22nd European Young Geotechnical Engineers Conf. – Gothenburg. – 2012. – P. 173 – 178.

РИСУНКИ К СТАТЬЕ В.А. Александрович «ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ВИБРОПОЛЗУЧЕСТИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЧАСТОТЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ»

Рис 1



Рис 2



Рис. 1. Общий вид установки.

Рис. 2. Индикатор уровня воды в лотке.



Рис 4



Рис 5

Рис. 4. Виброшамп, вид спереди.

Рис. 5. Насосная станция.



Рис 6



Рис 7

Рис. 6. Дебаланс и набор грузов.

Рис. 7. Система съема данных об осадке штампа.



Рис 8



Рис 9

Рис. 8. Виброметр ВИП-2 с датчиком колебаний Д-21А.

Рис. 9. Цифровой осциллограф Oscill.