

**ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОСАДОК  
ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ  
ПРИ ДЕЙСТВИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ  
НАГРУЗОК С ЧАСТОТОЙ ДО 50 ГЦ**

Александрович В.А.

Харьковский национальный университет городского  
хозяйства им. А.Н. Бекетова  
г. Харьков, Украина

**АНОТАЦІЯ:** В статті представлено результати досліджень поведінки ґрунтів при дії гармонічних динамічних навантажень на водонасичені незв'язні ґрунти основи.

**АННОТАЦИЯ:** В статье представлены результаты исследований поведения ґрунтов при действии гармонических динамических нагрузок на водонасыщенные несвязные ґрунты основания.

**ABSTRACT:** Results of the research of water-saturated non-cohesive base soil behavior under harmonic dynamic loads are presented in the paper.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** виброползучесть, несвязный ґрунт, штамп, фундамент, осадка, статическая и динамическая нагрузка, гармонический закон.

**ВВЕДЕНИЕ**

Гармонические колебательные воздействия, в т.ч. с частотой вынужденных колебаний до 50 Гц, присущие промышленному динамическому оборудованию, существенно влияют на основания фундаментов как самого оборудования, так и несущих конструкций цехов и даже соседних сооружений, попадающих в зону влияния источника вибрации. Известны случаи: нарушения технологических процессов, работы станков, приборов, аппаратов вследствие неравномерных смещений песчаных

оснований; дополнительных осадок до 40 см фундаментов колонн, попавших в осадочные воронки фундаментов машин с вращающимися частями, что вызывало остановку работы мостовых кранов в цехах; аварийных погружений самоходных виброкатков при динамических режимах уплотнения водонасыщенных мелких и средней крупности песков при устройстве подушек.

Такие, дополнительные к статическим, осадки виброползучести оснований, сложенных водонасыщенными мелкими и средней крупности песками, фундаментов машин с гармоническими динамическими нагрузками, частота вынужденных колебаний которых до 50 Гц, изучены недостаточно. Известны описания поведения грунта в момент его разжижения, тогда как для инженерной практики самое существенное значение имеют закономерности перехода песка в разжиженное состояние, в первую очередь, критические параметры вибрации, при которых начинается виброползучесть, а также совершенствование методики прогнозирования осадок таких оснований фундаментов машин.

До настоящего времени при рассмотрении вопроса возникновения длительной слабозатухающей осадки основания фундамента от динамической нагрузки используют два подхода. В обоих заложен принцип суперпозиции, заключающейся в суммировании осадок от статической нагрузки  $S_{ст}$  и осадки виброползучести –  $S(t)$ :

$$S = S_{ст} + S(t). \quad (1)$$

Конечное уравнение, описывающее развитие осадки во времени, согласно первому подходу, имеет вид  $S(t) = (Dt)^{0,5}$  [1],

где  $D$  – коэффициент виброползучести; согласно второму подходу  $S(t) = S_{ст} (\delta/\alpha) t^\alpha$  [2], где  $\alpha$  и  $\delta$  – некоторые коэффициенты, определяемые из эксперимента.

Очевидно, что подтверждаемая некоторыми лотковыми и полевыми опытами пропорциональность  $S$  и  $(t)^{0,5}$  корректна лишь для определенных условий и вытекает из удобства обработки эмпирической зависимости  $S(t)$ , а не из природы взаимодействия сил в системе. Сомнительна и универсальность второго подхода, также приводящая к степенной зависимости развития осадки во времени, хотя в ней и используется не фиксированный показатель степени, а эмпирический из результатов виброштамповых испытаний. В современных условиях сомнительна целесообразность упрощения аппроксимирующих функций для удобства обработки, при помощи логарифмической бумаги, ввиду распространения компьютерных технологий в научной и инженерной практике.

Действующая методика прогноза дополнительной осадки водонасыщенного песчаного основания при действии на него динами-

ческих нагрузок [3] ограничена частотой вынужденных колебаний свыше 50 Гц, так как разработана специально для турбоагрегатов. Мало исследовано влияние на корректность прогноза конечной осадки роста временного интервала виброштампового эксперимента на каждом «динамическом» этапе с 4...8 ч согласно «Рекомендациям...» до 30...50 ч, а возможно и на больший срок.

Известные решения пространственных задач МКЭ с использованием упругопластических моделей грунта адекватно оценивают напряженно-деформированное состояние (НДС) массива и наведенные характеристики грунта в нем при устройстве и работе оснований и фундаментов с уплотнением грунта, в т. ч. при динамическом влиянии на них, но для задач с динамическими нагрузками, описываемыми гармоническим законом, использования этих методов вследствие длительности процессов может оказаться не корректным.

Поскольку в известных методиках приняты существенные упрощения, в связи с необходимостью ручной обработки опытных данных, то повысить точность исследований поведения грунтов от динамического влияния возможно путем превращения виброштамповой установки в программно-аппаратный комплекс исследования осадок модели фундамента от действия динамических нагрузок. При помощи данной установки и авторской методики исследований закономерностей развития во времени осадок водонасыщенных песчаных оснований от влияния сочетаний статического давления под виброштампом, амплитуды и частоты его вынужденных гармонических колебаний были проведены комплексные лотковые и полевые исследования зависимостей влияния сочетаний статического давления под виброштампом, амплитуды и частоты его вынужденных гармонических колебаний для частот ниже 50 Гц на возникновение и развитие во времени осадки виброползучести оснований, сложенных водонасыщенными мелкими и средней крупности песками.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ МКЭ с использованием упругопластической модели грунта показал невозможность на сегодняшнем уровне программы достаточно корректного моделирования процесса осадки виброползучести водонасыщенных песчаных оснований фундаментов при длительности действия гармонической нагрузки более 1 ч. Кроме этого, полученное даже на таком коротком промежутке времени значение осадки и характер ее поведения не согласуется с экспериментальными данными. Поэтому полученные при лотковых испытаниях данные пока невозможно оценить с

помощью имеющихся программ, которые реализуют МКЭ для моделирования НДС грунтовых массивов с учетом динамических нагрузок [4].

Таким образом, наиболее надежным и перспективным является прогнозирование дополнительной осадки водонасыщенных песчаных оснований от действия гармонической динамической нагрузки на базе экспериментальных виброштамповых исследований по методике, предложенной в [5].

В результате лотковых и полевых виброштамповых испытаний, детально описанных в работах [5, 6] получены следующие результаты.

Закономерности развития во времени осадок водонасыщенных песчаных оснований виброштампов в условиях как лотковых, так и полевых испытаний качественно аналогичны при комбинациях величин статического давления и параметров динамической нагрузки. После стабилизации, линейно зависящей от статического давления осадки основания и включения вибратора, начинается дополнительная осадка виброползучести, если амплитуда колебаний превышает определенную «критическую» величину; характер развития этой осадки во времени зависит также от амплитуды колебаний штампа.

Установлено, что при неизменных величинах давления, амплитуды и частоты колебаний по характеру развития осадка оснований, сложенных водонасыщенными мелкими и средней крупности песками, фундаментов машин с гармоническими динамическими нагрузками, частота вынужденных колебаний которых меньше 50 Гц, может быть затухающей и незатухающей. Развитие во времени затухающей осадки на начальном этапе корректно аппроксимировать степенной функцией, а при достижении времени  $t > 24...30$  ч (чем выше частота, тем раньше) ее вид приобретает явно выраженный логарифмический характер. Прогноз конечной осадки сводится к определению параметров аналитической зависимости ее развития при достаточном для аппроксимации числе замеров и экстраполяции этой функции на необходимый временной интервал.

Незатухающая осадка виброползучести развивается по линейному закону с постоянной скоростью и достигает значительных величин за несколько часов от начала опыта. Устройство фундаментов на природном основании при таком сочетании частоты, амплитуды колебаний и статического давления исключено ввиду достижения сверхнормативных осадок после пуска источника вибраций.

Базируясь на наследственной теории ползучести с ядром ползучести Больцмана, примененной для описания процесса виброползучести водонасыщенных песчаных оснований фундаментов машин с динамическими нагрузками, подчиняющимися гармоническому закону, с частотой до 50 Гц. – усовершенствована методика расчета осадок водонасыщенных

песчаных оснований фундаментов машин с вращающимися частями во времени.

Так как с уменьшением частоты колебаний пропорционально снижается скорость осадки виброштампа, то при частотах колебаний ниже 50 Гц для прогноза конечной осадки с погрешностью менее 1% по эмпирическим зависимостям доказана необходимость увеличения относительно ранее общепринятого в геотехнике интервала эксперимента на каждом «динамическом» этапе с 4...8 ч до 30...50 ч. Достоверность методики подтверждена результатами длительных (до 355 ч) виброштамповых испытаний, для которых значения статистических показателей аппроксимации данных составили  $R^2 = 0,98...0,99$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хаин В.Я. К описанию процесса виброползучести на основе двумерной дискретной модели / В.Я. Хаин // Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений: материалы V Всесоюзной конф. – Ташкент: Фан, 1981. – Т.1. – С. 273 – 275.
2. Филиппов О.Р. Исследование осадок фундаментов на песчаных основаниях при установившихся колебаниях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / О.Р. Филиппов. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсева-нова, 1978. – 117 с.
3. 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.
4. Александрович В.А. Виброустойчивость песчаных оснований фундаментов машин с динамическими нагрузками, подчиняющимися гармоническому закону: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / В.А. Александрович. – Полтава: ПНТУ, 2015. – 162 р.
5. Aleksandrovych V.A. Concerning the Vibrocreep Issue Proc. of 22-nd European Yong Geotechnical Engineers Conf. – Sweden, Gothenburg: Chalmers university of technology. – 2012. – P. 173 – 178.
6. Александрович В.А. Анализ некоторых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов с точки зрения современных достижений / В.А. Александрович // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПНТУ, 2013. – Вип. 3(38), Т. 2. – С. 15 – 23.
7. Александрович В.А. Осадки песчаных оснований штампа от динамических нагрузок, подчиняющихся гармоническому закону / В.А. Александрович, Ю.Л. Винников // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 2(44). – С. 161 – 177.

### REFERENCES

1. Khain V.Ya. For characterizing vibrocreep process basing on two-dimensional quantified model / V.Ya. Khain // Proc. of V all-USSR Conf. «Bases,

- foundations and underground structures dynamics». – Tashkent: Fan, 1981. – Vol.1. – P. 273 – 275.
2. Philippov O.R. Foundations settlements on sand bases with sustained vibration study / Candidate's of engineering science thesis: 05.23.02 / O.R. Philippov. – Moscow.: Gersevanov NIIOSP, 1978. – 117 p.
  3. Guidelines for conducting vibrostability field tests of bases of turbo-unit foundations.– M.: Gersevanov NIIOSP in association with DIIT 1986. – 30 p.
  4. Aleksandrovych V.A. Vibrostability of sand soil bases of machines with dynamic loads, subjected to the harmonic law / Candidate's of engineering science thesis: 05.23.02 / V.A. Aleksandrovych – Poltava: PNTU, 2015. – 162 p.
  5. Aleksandrovych V.A. Concerning the Vibrocreep Issue / V.A. Aleksandrovych // Proc. of 22-nd European Young Geotechnical Engineers Conf. – Sweden, Gothenburg: Chalmers university of technology. – 2012. – P. 173 – 178.
  6. Aleksandrovych V.A. Analysis of some vibrocreep testing of foundation bases in terms of current achievements / V.A. Aleksandrovych // Sc. papers collection (Applied-research of machine construction, building) – Poltava: PNTU, 2013. – Is. 3(38), Vol. 2. – P. 15 – 23.
  7. Aleksandrovych V.A. Settlements of sand bases of stamp because of dynamic loads subjected to harmonic law incidence / V.A. Aleksandrovych, Yu. L. Vynnykov // Sc. papers collection (Applied-research of machine construction, building) – Poltava: PNTU, 2015. – Is. 2(44). – P. 161 – 177.

Статья поступила в редакцию 14.07.2016 г.