

Оценка параметров колебаний, влияющих на свойства грунтов

Ю. Т. ЧЕРНОВ,

д-р техн. наук, проф., ст. науч. сотрудник (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко)

В. Г. КОЗЬМОДЕМЬЯНСКИЙ,

зам. начальника отдела нормативно-правового регулирования Департамента регулирования градостроительной деятельности Минрегиона России

Цель статьи — по результатам исследований ряда авторов и некоторым обзорным работам оценить уровень и параметры колебаний, влияющих на свойства грунтов и их осадки.

При оценке влияния вибраций на свойства грунтов выделяют три стадии, подобные тем, которые Н. М. Герсеванов выделил при статических нагрузках — фазу уплотнения, фазу образования сдвигов и фазу разрушения. Осадки, свойственные первой фазе, происходят, как правило, в рыхлых песках и песках средней плотности, если она ниже максимальной структурной плотности, при относительно невысоких уровнях статических и динамических нагрузок. В литературе развитие осадок, связанных с уплотнением, получило название виброкомпрессии. В глинах и глинистых грунтах, обладающих даже небольшим сцеплением, а также в плотных песках такой процесс невозможен. Осадки второй фазы характерны для сильно нагруженных фундаментов, в которых под действием только статической нагрузки около фундаментов появляются области пластических деформаций. В этих случаях даже относительно небольшие динамические воздействия на фундамент или его основание, передающиеся от внешних источников, приводят к значительному увеличению осадок и сроков их стабилизации. Развивается процесс виброползучести. Осадки, свойственные второй фазе, в основном происходят не в результате уплотнения толщи грунтов, а за счет образования в ней сдвигов. Вследствие этого такие осадки наблюдаются как в песчаных грунтах, в том числе и плотных, так и в глинистых.

Осадки третьей фазы могут быть различными по своему характеру при значительных статических и незначительных динамических воздействиях — слабых сотрясениях или

вибрациях. Общая картина потери основанием устойчивости примерно такая же, как и при действии только статических нагрузок. При значительных динамических воздействиях или вибрациях основания грунт временно может переходить в текущую стадию, причем погружение фундаментов будет тем значительней, чем больше способность грунта менять свои физико-механические свойства. Резкое разжижение (тиксотропия) грунта при динамических воздействиях отмечается в глинистых грунтах, особенно пластичной и текучей консистенции, а также в водонасыщенных песчаных грунтах, особенно пылеватых и мелких. В зависимости от интенсивности и продолжительности динамических воздействий после разжижения может наступать процесс уплотнения песчаного грунта под действием массовых сил. В этом случае (при относительно низком уровне динамических воздействий) силы внутреннего трения в грунте резко снижаются, в другом — исчезают полностью, вследствие чего грунт превращается в тяжелую жидкость. После отжатия воды грунт приобретает более прочную и устойчивую структуру, однако в момент разжижения временная потеря грунтом прочности может явиться причиной серьезных аварий.

Обзор основных работ, посвященных исследованию свойств грунта при динамических воздействиях, содержится в работах [1–3]. Основополагающий вклад в изучение этой проблемы внесли Д. Д. Баркан, Н. И. Маслов, О. А. Савинов, В. А. Ильиничев, П. Л. Иванов, О. Я. Шехтер, М. Н. Гольдштейн, Л. Р. Ставницер и многие другие. Из исследований, связанных с оценкой свойств грунта при малых статических и динамических воздействиях, провоцирующих, в частности, развитие осадок, связанных с уплотнением, отметим работы Д. Д. Барканы, О. А. Савинова

и П. Л. Иванова. Первые опыты по изучению процесса вибрационного уплотнения песка были поставлены Д. Д. Барканом [4], который исследовал процесс уплотнения песчаного грунта со свободной поверхностью, уложенного в открытый сосуд, при вибрационных воздействиях различной интенсивности. По-видимому, именно Д. Д. Барканом впервые было отмечено, что разрушение структуры и уплотнения песчаных грунтов определяется, главным образом, ускорением колебаний, а не амплитудой или частотой.

Если песок предварительно уплотнен, то вибрирование вызывает разрушение его структуры и дальнейшее уплотнение только при ускорении колебаний, превосходящих определенную величину (по определению Д. Д. Барканы — «порога виброуплотнения» [4]). Некоторые авторы называют эту величину «критическим ускорением». Опыты по изучению процесса вибрационного уплотнения песчаных грунтов при наличии статической составляющей были впервые проведены О. А. Савиновым [2, 3].

Отметим также результаты опытов, касающихся оценки уровней динамических воздействий, влияющих на характер и величину дополнительных осадок. Так, при ускорениях порядка $33 \text{ см}/\text{с}^2$ и частоте 11 Гц полного уплотнения сухого мелкозернистого песка в течение 6 сут не наступило. Быстрое уплотнение песка в течение 10–30 мин происходило при ускорениях $(1\dots 3)\text{g}$ [5].

Обширная серия экспериментов по выработке критерии оценки деформативности оснований при динамических воздействиях была проведена в НИИОСП им. Н. М. Герсеванова и Ленинградском Промстройпроекте [2]. Экспериментальная установка состояла из фундамента-источника и шести фундаментов-приемников. Грунт в основании фундаментов — мелкозернистые пески. Основная серия опытов проводилась на водонасыщенном основании. Во всех случаях нулевые и быстрозатухающие осадки фиксировались при ускорении колебаний не более $16 \text{ см}/\text{с}^2$. Наблюдения в течение 10 сут за осадками опытных фундаментов при вибрационном фоне от соседнего оборудования показали, что фундамен-

Ускорения колебаний поверхности грунта около фундаментов, см/ s^2	Характеристика динамических осадок фундаментов	
	в водонасыщенных заиленных песках, текучепластичных глинах и других слабых грунтах	в песках (кроме указанных) и пластичных глинистых грунтах
До 5	Незначительные затухающие осадки	Осадок нет
От 5 до 15	Затухающие осадки (2–3 мм/год)	Весьма незначительные незатухающие или слабо затухающие осадки (1–2 мм/год)
От 15 до 30	Незатухающие осадки (3–5 мм/год)	Незатухающие осадки (2–3 мм/год)
От 30 до 50	Значительные незатухающие осадки (более 5 мм/год)	Незатухающие осадки (3–5 мм/год)

ты на водонасыщенном основании, статическое давление под которыми не превышало 0,25 МПа, практически не испытывали динамических осадок. Уровни ускорений колебаний этих фундаментов при амплитудах колебаний 15–20 мкм и частотах 9–12 Гц не превышали 6–8 см/ s^2 .

В исследованиях И. А. Савченко [2] отмечено, что вибрирование вызывает уменьшение коэффициента внутреннего трения песка, которое зависит как от амплитуды, так и от частоты колебаний. Однако как из его опытов, так и из других работ следует, что в широком диапазоне ускорений колебаний – до (0,8...1) g , характерных для реальных уровней колебаний на площадках, угол внутреннего трения несвязанных грунтов практически не меняется. Изменяется, по-видимому, главным образом величина удельного сцепления.

Результаты многочисленных натурных обследований колебаний и их анализ содержатся в работе [2]. Там приведены данные об осадках фундаментов и характере повреждений, в том числе соседних зданий, при вибрационных воздействиях, возбуждаемых при работе виброактивного оборудования различных типов: молотов, шаровых и стержневых дробилок, турбоагрегатов и др. Осадки фундаментов при длительных динамических воздействиях наблюдались на основаниях, сложенных мелкими и пылеватыми песками, реже песками средней плотности и рыхлыми в водонасыщенном состоянии, а также на основаниях с другими видами слабых грунтов – супесями, слабыми суглинками.

Хотя на большинстве объектов уровень колебаний фундаментов ма-

шин не превышал установленных нормами, осадки фундаментов зданий были значительными (от 3 до 88 см) даже на расстоянии 20–30 м от источников колебаний. При этом уровни ускорений изменялись в очень широких пределах: от 2–7 см/ s^2 при работе шаровых мельниц и ковочных молотов с массой падающих частей 3–5 т при основании в виде суглинков до 400–600 см/ s^2 при работе молотов с массой падающих частей 1–7 т, в основании фундаментов которых залегают мелкие пылеватые водонасыщенные пески.

Наибольшие осадки и повреждения конструкций зданий наблюдались на объектах при высоких значениях ускорений. На основании анализа данных эксперимента и результатов натурных обследований О. А. Савиновым [3] было отмечено, что осадки зданий и сооружений, фундаменты которых сильно нагружены, а давления близки к предельно допустимым (нормативным), не являются следствием вибрационного уплотнения грунтов, а связаны с образованием в их толще сдвигов. Такие осадки нередко возникают не только в рыхлых, но и в плотных песках и глинистых грунтах (за исключением твердых). Они могут длиться десятилетиями под влиянием даже относительно слабых сотрясений.

Если при проектировании фундамента необходимо учитывать влияние сотрясений, распространяющихся от тех или иных промышленных источников или транспорта, следует пользоваться имеющимися опытными данными. Такие данные содержатся во многих отечественных и зарубежных работах [например, 6–8]. На их основе в монографии [3]

предложены критерии оценки уровней колебаний (ускорений), влияющих на осадки фундаментов зданий и сооружений (при длительном воздействии) в зависимости от вида грунтов (таблица [3]).

Вопрос об оценке интенсивности сотрясений грунта с точки зрения их влияния на осадку зданий и сооружений не вполне ясен. Для зданий, малочувствительных к неравномерным осадкам, предельно допустимыми можно считать вибрации с ускорениями в слабых грунтах до 30, а в плотных – до 50 см/ s^2 ; для чувствительных к неравномерным осадкам зданий – соответственно 15 и 30 см/ s^2 . Для решения не менее важной проблемы – снижения уровней колебаний элементов конструкций (как правило, в околосрезонансных режимах) в зданиях, расположенных вблизи транспортных магистралей, наиболее эффективным способом является устройство вибропротивозащиты. В некоторых случаях имеет смысл использовать такие конструктивные решения, которые гарантировали бы отсутствие колебаний перекрытий в резонансных или околосрезонансных режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. М.: Выш. шк., 1991. 311 с.
2. Пятецкий В. М., Александров Б. К., Савинов О. А. Современные фундаменты машин и их автоматизированное проектирование. М.: Стройиздат, 1993. 415 с.
3. Савинов О. А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. Л.: Стройиздат, 1979. 200 с.
4. Баркан Д. Д. Динамика оснований и фундаментов. М.: Стройвоенмориздат, 1948. 412 с.
5. Иванов П. Л. Разжижение песчаных грунтов. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1962. 260 с.
6. Дащевский М. А., Миронов Е. М., Моторин В. В. Виброзащита зданий – теория и реализация // Сейсмостойкое стро-во. Безопасность сооружений. 2002. № 5. С. 34–46.
7. Чернов Ю. Т. Вибрации строительных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2006. 288 с.
8. Illichev V. A., Kerchman V. I., Rubin B. I., Piafetsky V. M. Experimental study of sand soil vibrocreeping Intern // Symp. On Soils Under Cyclic and Transient Loading. Swansea, 1980. P. 31–26.