

УДК 624.131.5

**ОСАДКИ ОСНОВАНИЙ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ  
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ  
ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК  
МАЛОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

**Кравцов В.Н., Лапатын П.В.**

*Научно-исследовательское республиканское унитарное  
предприятие по строительству «Институт БелНИИС»,  
г. Минск, Беларусь*

В статье рассмотрены особенности деформирования оснований плитных фундаментов пониженной прочности при длительном воздействии на них динамических нагрузок малой интенсивности и дан способ ее оценки.

Peculiarities of settlements of slab foundation beds with low bearing capacity during the impacts of long dynamic loads low intensity and The method of its evaluation are given in this article.

**Введение.** Известно [1, 2], что в городах основными источниками геодинамических воздействий, оказывающих существенное влияние на эксплуатационную надежность и безопасность зданий и сооружений, являются: а – техногенные (городской транспорт, производственное оборудование, строительные механизмы, взрывы и др.); б – природные явления (сейсмические сотрясения, от проседания в карстовые, подрабатываемые полости и др.), которые с каждым годом становятся все интенсивнее.

Так, техногенное вибрационное загрязнение городов страны за последние 10 лет увеличилось до 1,5 раз: от метрополитена на 41%, автодорог на 44%, трамваев на 21%, промышленная вибрация на 11% /1/. По сейсмичности территория Республики Беларусь вошла в зону 7-ми балльной сотрясаемости при землетрясениях [3].

Поэтому исследование этих воздействий на основания сооружений являются актуальными и активно изучаются, как в РБ, так и за рубежом [1, 4-6, 8 и др.]. Как правило, большинство указанных исследования относятся к сейсмическим или взрывным возмущениям среды и в меньшей степени к воздействиям малой интенсивности от производственной, транспортной и другой вибрации.

Вместе с тем, имеющиеся опытные данные о динамических сотрясениях оснований фундаментов, вызванных ветровыми нагрузками на высотные объекты и здания повышенной этажности, или от забивки свай, уплотнения-рыхления грунта и транспортной нагрузки, существенно отличаются от сейсмических воздействий на них. Сотрясения «малой» интенсивности рядом с существующими объектами имеют, как правило, локальное распространение, но приводят к не менее неблагоприятным последствиям. Накапливаясь во времени динамическая осадка к концу нормативного срока службы объекта может превысить в несколько раз осадку от статической части нагрузки. Тем не менее, до настоящего времени не разработаны и не отражены в действующих ТНПА методы, учитывающие состояние оснований фундаментов при воздействии на них длительных динамических нагрузок малой интенсивности, действие которых сопоставимо с нормативным сроком службы сооружений.

В статье даны результаты исследований деформации малопрочного песка при совместном воздействии на него статической и длительно действующей динамической нагрузок и способ ее оценки.

**Исследования и анализ деформирования песчаных грунтов от совместного воздействия на них статической и динамической нагрузок.** Анализ исследований различных авторов [4–6, 8, 9] и собственных лабораторных исследований мелкого песка показали, что приложенная к грунту вибрационная нагрузка приводит к существенному изменению его первоначальной структуры и свойств (рис. 1–3). В частности установлено, что:

1. При отсутствии статической пригрузки ( $p=0$ ) и невозможности бокового расширения уплотнение малопрочного песка начинается при самых слабых вибрациях протекает быстро, сильно зависит от его влажности и имеет нелинейную зависимость между плотностью и ускорением колебаний. Испытания показали, что при постепенном увеличении ускорения колебаний уплотнение водонасыщенного песка, отвечающее заданному уровню вибрации полностью заканчивается в течение 30 мин, а для сухого грунта за 7–10 мин.. Полное уплотнение мелкого песка происходит за 6–8 часов при постоянном ускорении до  $0,2 \text{ м/с}^2$ .

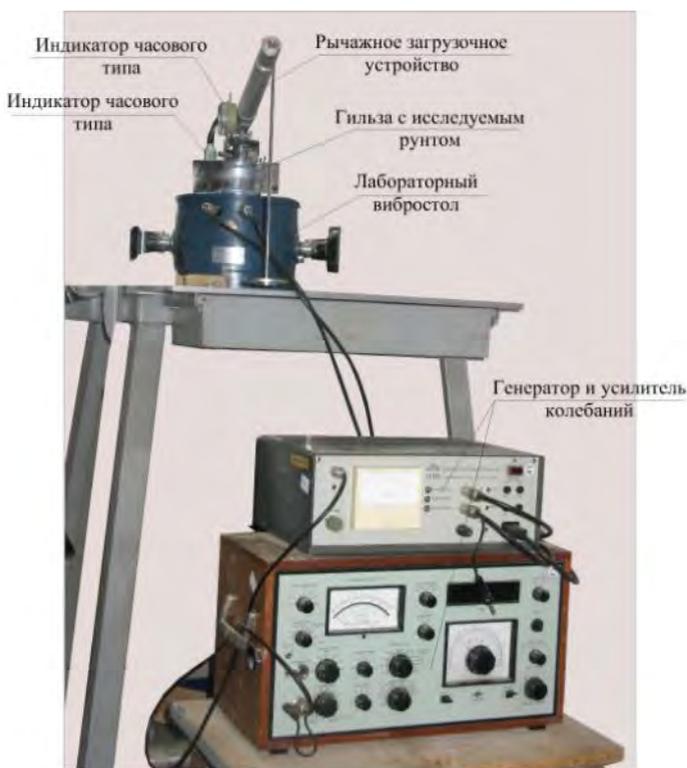


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки для исследования грунтов на совместное действие статической и динамической нагрузок с возможностью и без возможности бокового расширения

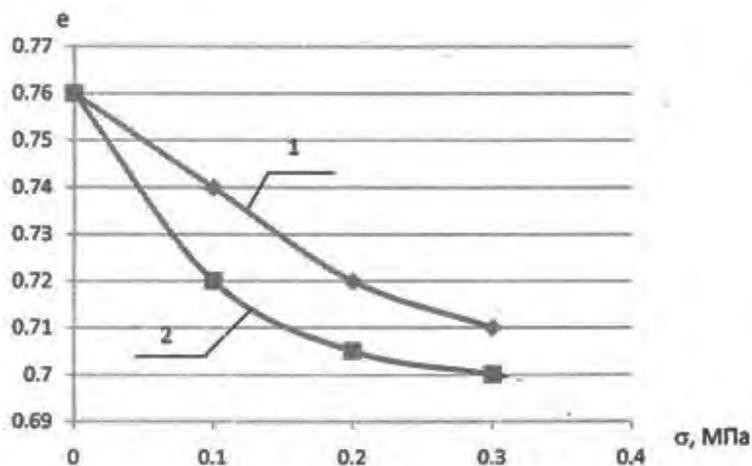


Рис. 2. Влияние статической нагрузки на компрессионную сжимаемость мелкого песка ( $w = 16-18\%$ ), без возможности бокового расширения при действии вибрации ( $a = 0,07 \text{ м/с}^2$ ,  $f = 30 \text{ Гц}$ ):  
 1 – вибрация отсутствует  $a_{\text{ед}} = 0$ ; 2 – постоянная вибрация при  $a = 0,07 \text{ м/с}^2$

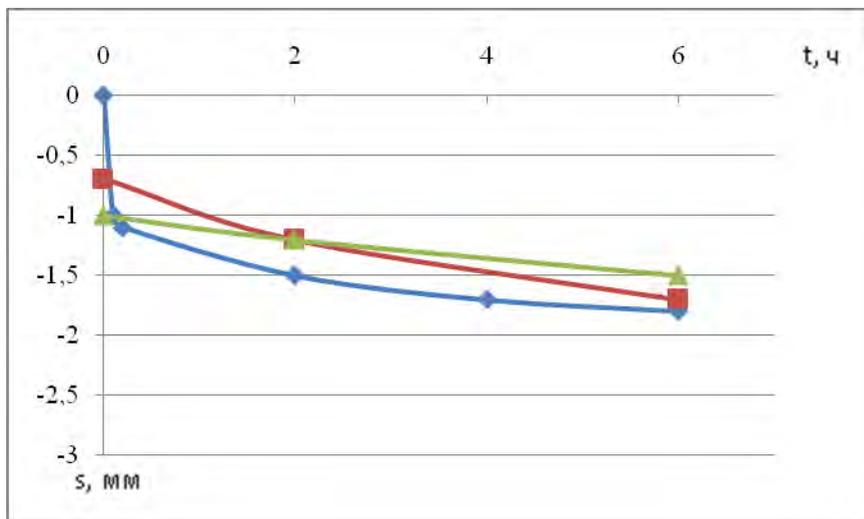


Рис. 3. Деформирование мелкого песка во времени при совместном действии статической и динамической нагрузок с возможностью бокового расширения:  
 $f = 30 \text{ Гц}$ ;  $a = 0,11 \text{ м/с}^2$ ;  $e_0 = 0,75$ ,  $w = 12 \%$

2. Пригрузка и увеличение интенсивности ускорения колебания песка практически не сокращают время его полного уплотнения.

3. При наличии статической пригрузки зависимость степени плотности от ускорения колебаний носит иной характер. При малых ускорениях, не превышающих некоторого предела ( $a_{кр}$ ), нагруженный образец (без возможности бокового расширения) не дает осадки и не меняет плотности. Когда ускорения превышают указанный предел, начинается процесс уплотнения. Интервал ускорений, в котором происходит уплотнение сухого и воданасыщенного мелкого песка не превышает  $a = 0,05-0,2 \text{ м/с}^2$ .

4. При одной и той же пористости песка (в условиях компрессионного сжатия) величина критического ускорения тем больше, чем больше статическое давление, передаваемое на образец. Это зависимость критического ускорения от удельного статического давления носит не линейный характер (см. рис. 2).

5. При приложении к образцам песка, пригруженных **предельной** ( $p = 0,5-0,7p_{крит}$ ) статической нагрузкой и имеющих возможность бокового расширения, длительной циклической или постоянной вибрации, даже после завершения процесса его уплотнения, возникают длительные незатухающие дополнительные осадки штампа (фундамента), обусловленные его вибрационной ползучестью, что совпадает с данными П.Л. Иванова и др. [9 и др.].

**Методика оценки оснований фундаментов с пониженной прочностью при длительном воздействии на них динамических нагрузок.** В настоящее время на практике при проектировании фундаментов на основаниях пониженной прочности и наличии транспортно-промышленных вибраций их дополнительные виброосадки, как правило, не учитываются. В то же время, экспериментально установлено, что даже тогда, когда вибрации имеют минимальную интенсивность, а сдвигающее усилие, передаваемое на образец грунта пониженной прочности не достигает предельного значения, возникают деформации сдвига, которые протекают с весьма малой постоянной или слабо затухающей скоростью все время, пока образец подвергается вибрациям и, накапливаясь, достигают ощутимых величин. При статических нагрузках близких к предельным ( $0,7-0,9p_{пред}$ ) осадки штампа (фундамента) всегда соответствуют второй фазе по Н.М. Герсеванову, т.е. вызываются не уплотнением образца песка, а образованием в нем малых пластиче-

ских сдвигов. Эти осадки оказываются, при прочих равных условиях, тем более значительными, чем меньше характеристики сопротивления грунта сдвигу и чем больше давление, передаваемое штампом (фундаментом) на основание. В результате этого в краевых зонах нагруженных штампов в местах образования пластических деформаций достаточно сравнительно небольших вибраций, чтобы вызвать перемещение грунта, который начинает медленно вытекать из-под подошвы фундамента, что вызывает перераспределение напряжений в грунтовом массиве и соответственно – течение грунта от центра к краям его подошвы. Этот процесс происходит непрерывно и приводит к медленным незатухающим во времени осадкам.

В отечественной литературе он получили название виброплзучести [5, 6, 9 и др.]. С более общих позиций виброползучесть следует рассматривать, как одно из проявлений свойства грунтов накапливать микропластические деформации в дополнительном напряженном состоянии под влиянием динамических воздействий. Теоретические модели учета этого фактора недостаточно разработаны, сложны для практического применения в связи с трудностью получения требуемых экспериментальных данных. Поэтому они не находят применения в современной проектной практике.

В связи с этим, для оценки и расчета дополнительных виброосадок плитных фундаментов зданий от производственно-транспортных вибраций разработана методика [10] базирующаяся на использовании для этих целей натуральных и лабораторных данных параметров грунта в исследуемом основании объекта, испытанного на статические и вибродинамические нагрузки соответствующие реальным условиям в сжимаемой толще основания фундаментов.

Сущность метода заключается в послойном суммировании дополнительных динамических осадок фундаментов, накапливаемых во времени, по результатам натурного геодинамического обследования оснований фундаментов (определения фактических параметров динамических воздействий  $a$ ,  $m/c^2$ ,  $f$ , Гц и др.) и лабораторных динамических испытаний грунтов, залегающих по их глубине в пределах сжимаемой зоны, в установке обеспечивающей их загрузку статической нагрузкой, соответствующей давлению в основании по центральной оси подошвы фундамента для средних глубин каждого рассматриваемого слоя и моделирующей фактиче-

ские натурные условия, установленные по результатам геодинамического обследования (физико-механические характеристики грунта, мощность слоев, давление, частота, ускорение, продолжительность и уровень вибрации).

Каждое испытание завершается определением дополнительной виброосадки  $s_{gi}$  для каждого слоя  $i$  основания в сжимаемой зоне фундамента определяемой с учетом убывания вибраций по глубине основания по закону  $\alpha = \alpha_0 e^{-\beta z}$  (где  $\beta = 0$  - коэффициент затухания в песке) и критического порога уплотняемости для каждого слоя грунта. Их суммирование с пропорциональным переходом от мощности опытного образца  $h_0$  и времени испытания  $t_0$  в экспериментальной установке к мощности натурального слоя грунта основания  $h_i$  и времени накопления динамической осадки  $s_{gi}$ , м, за год  $t_i$  дает ожидаемую виброосадку основания. За весь период эксплуатации сооружения, которая определяется по формуле

$$s_{\Sigma} = cN \sum_{i=1}^n s_{gi} K_t K_h,$$

где  $c$  – измеренный коэффициент режима движения транспорта в течение суток, равный для метро и автомобильного транспорта  $c = 0,8$  в г. Минске и областных городов РБ;  $N$  – период эксплуатации объекта, год;  $K_t = t_i/t_0$ ,  $K_h = h_i/h_0$  – коэффициенты перехода от времени испытания  $t_0$  и толщины слоя  $h_0$  на испытательной установке ко времени накопления динамической осадки за один год  $t_i$  для фактических толщин слоев  $h_i$  соответственно.

**Методика апробирована на ряде объектов [10].**

## Литература

1. Кудрявцев, И.А. Влияние вибрации на основания и сооружений / И.А. Кудрявцев. – Гомель : БелГУТ, 1999. – 247 с.
2. Анализ сейсмического риска, спасение и жизнеобеспечение населения при катастрофических землетрясениях (сейсмические, методологические и методические аспекты) / С.К. Шойгу [и др.]. – М. : ГКЧСРФ, Илсан, 1992. – 295 с.
3. Высотные здания. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.02-108-2008. – МАиС РБ, 2008. – 85 с.

4. Баркан, Д.Д. Динамика оснований и фундаментов Д.Д. Баркан. – М. : Стройвоенмориздат, 1948. – 411 с.
5. Савинов, О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет / .О.А. Савинов. –Л. : Стройиздат, 1979. – 200 с.
6. Тер-Мартirosян З.Г. Деформации ползучести грунтов основания высотных зданий при циклическом и вибрационных воздействиях / З.Г. Тер-Мартirosян, А.З. Тер-Мартirosян // Труды международной конференции по геотехнике «Геотехнические проблемы мегаполисов» (GEO Mos 2010), г. Москва, 7-10 июня 2010 г. – Т.4. –М. : ПИ «Геореконструкция», 2010. – С. 1309–1314.
7. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-5.01-254-2012. – Минск : МАиС РБ, 2012. –164 с.
8. Сеськов, В.Е. Динамические характеристики биогенных грунтов / В.Е. Сеськов, С.Д. Шнышко // Труды Международной научно-технической конференции г. Минск, 10–12 октября 2001 г. – Т. 2. – С.109.
9. Иванов, П.Л. Экспериментальные исследования влияния вибрации на сопротивление сдвигу песчаных грунтов / П.Л. Иванов, Н.В. Флорина, А.К. Бугров // Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и одежды автомобильных дорог. – Л. : Стройиздат, 1964. – С. 23–28.
10. Кравцов, В.Н. Геодинамическое обследование основания фундаментов здания по ул. Черняховского в г. Витебске и оценка виброосадок, накопленных от транспортной вибрации / В.Н. Кравцов, П.В. Лапатын // Сборник трудов XVIII международного научно-методического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь». – Том 2. – Новополоцк, ПГУ, 2012. – С. 219–225.