

Черныш А.С., канд. техн. наук, проф.  
Черныш Н.Д., доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

gkadastr@mail.ru

*В статье рассмотрены вопросы деформации оснований элементов, создающих городскую среду, в частности, вопросы виброустойчивости и виброползучести водонасыщенных песчаных грунтов. Представлен анализ методов закрепления грунтов, повышающих устойчивость зданий и сооружений. Особенно это актуально в настоящее время, когда на конструкции зданий и сооружений повышается нагрузка от вибрации, вызванной интенсивным движением транспорта с одновременным увеличением массы зданий и, соответственно, нагрузок на основания.*

**Ключевые слова:** городская среда, деформации, песчаные основания, виброустойчивость, виброползучесть.

Все многообразие объектов, окружающее человека и созданное человеком, от зданий и сооружений до дорог составляет городскую среду. Вопросы проектирования и создание современной качественной городской среды в настоящее время достаточно актуальны. При этом весьма высоки требования к обеспечению надежных условий строительства и эксплуатации зданий, сооружений и транспортных коммуникаций.

Под воздействием статической и переменной нагрузок при взаимодействии подземной части сооружения с неоднородной грунтовой средой возникает сложное напряженно-деформированное состояние (НДС), которое может привести к дополнительным остаточным деформациям. Оценка НДС оснований, в том числе остаточных деформаций грунтов основания имеет большое значение.

Наблюдениями на ряде промышленных сооружений установлены недопустимо большие осадки и деформации фундаментов, которые испытывают динамические воздействия от работы оборудования в течение длительного времени (фундаменты дробилок, кузнечных молотов, а также близлежащие фундаменты промышленных зданий) [1–4]. Часть подобных явлений характерна для сооружений, возведенных на мелкозернистых и пылеватых песках, обычно водонасыщенных, и связана с виброползучестью песчаного основания [5, 6]. При этом в отличие от процессов динамического уплотнения и разжижения песков [7–10] осадки затухают медленно.

Экспериментальные исследования на опытных площадках и на ряде промышленных площадок с опытными штампами площадью до 4,8 м<sup>2</sup>, а также анализ натуральных наблюдений позволили выявить ряд основных закономерностей процессов виброползучести.

Установлено, что при действии вибрации при статическом давлении  $\sigma_{ст} > \sigma_q$  пески под фундаментом могут испытывать длительные малозатухающие и незатухающие деформации, тем большие, чем больше амплитуда динамических напряжений  $\sigma_q$ . Критическая нагрузка, при которой начинает развиваться процесс нестабилизированной виброползучести, даже при небольших вибрациях, может быть существенно меньше предельной статической. Визуализация картины деформаций и измерения плотности показали, что большая осадка при виброползучести связана с вязко-пластичным пластическим сдвигом типа двустороннего выпора.

Также установлено, что влияние на виброустойчивость и виброползучесть песчаных грунтов амплитуды динамических напряжений более существенно, чем ускорения колебаний. Это совпадает с лабораторными трехосными испытаниями и современными понятиями о длительной прочности. Становится понятным влияние низкочастотной вибрации на водонасыщенные пески, так как определяющими являются напряжения и пропорциональные им амплитуды колебания. При этом фактор частоты в основном проявляется в зависимости процесса от числа накопленных циклов, а деформации виброползучести существенно зависят от статического давления под фундаментом. На рис. 1 приведены кривые развития осадок опытного штампа 0,9×2,0 м на водонасыщенном мелкозернистом песке средней плотности при постоянном уровне динамического воздействия с частотой 60 Гц и разных статических давлениях. Выявлено, что в определенном интервале давлений дополнительные осадки пропорциональны статической нагрузке. Протекание осадки во времени хорошо описывает степенная зависимость.

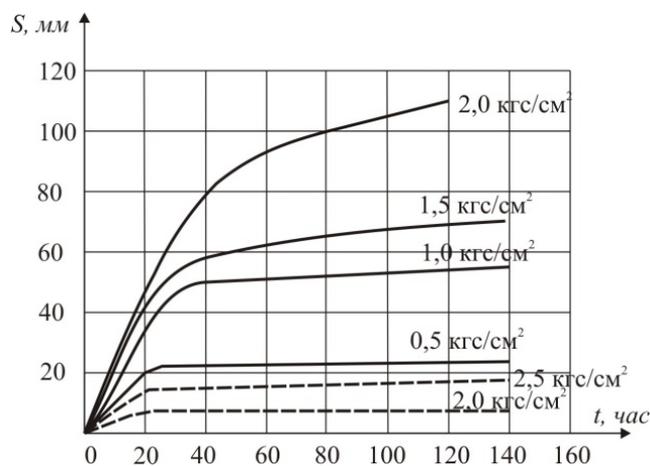


Рис. 1. Кривые развития осадок опытного штампа:

—— водонасыщенный грунт  $\sigma_q = 0,05$  кгс/см<sup>2</sup>; ----- сухой грунт  $\sigma_q = 0,1$  кгс/см<sup>2</sup>

Натурные наблюдения подтверждают эти сведения. Так, максимальный прогиб или крен фундаментов мощных агрегатов наблюдается обычно в районе наибольших вибраций. Осадки тяжело нагруженных фундаментов, воспринимающих через грунт колебания от работающих рядом машин, часто намного превышают осадки фундаментов этих машин, хотя уровень вибраций под ними ниже (бункерные этажерки, колонны кузнечных цехов и мельничных пролетов испытывали очень большие, обычно неравномерные осадки).

Сухие грунты более виброустойчивы, чем водонасыщенные, что проявляется в резком увеличении скорости осадки при повышении уровня подземных вод. [11, 12] При этом заглубление штампа и увеличение боковой нагрузки является стабилизирующими факторами, что вполне логично использовать на практике.

Таким образом, даже слабые динамические воздействия могут существенно уменьшить эффективную несущую способность, длительную прочность песчаного основания. Это уменьшение следует учитывать в соответствующем снижении расчетного давления, для чего необходимо проведение дополнительных испытаний грунтов стройплощадки. Для крупно- и среднезернистых песков, а также для сооружений малочувствительных к осадкам фундаментов можно ограничиться аналогичными лотковыми испытаниями, либо, ввиду хорошей корреляции полевых и лабораторных испытаний, в динамическом приборе трехосного сжатия.

Проведенными полевыми испытаниями установлено, что при наблюдаемых уровнях вибрации расчетные давления под фундаментами мельниц следует уменьшить до 0,5–0,55 от статического, а под соседними фундаментами колонн цеха – до 0,7–0,75 от статического  $R$ . Для медленно затухающих деформаций вибро-

ползучести вполне приемлемое проектное решение может быть дано и при оценке величины осадок виброползучести экстраполяцией данных предварительных полевых испытаний опытным виброштампом 0,5–1,5 м<sup>2</sup>.

Учет вышеизложенного позволяет избежать недопустимых деформаций и нарушений эксплуатационного режима промышленных сооружений, а для ответственных объектов, возводимых на мелкозернистых и пылеватых водонасыщенных песках, представляется необходимым.

Для предотвращения развития процессов виброползучести в основании часто необходимо применение защитных мероприятий. Наиболее эффективна виброизоляция источника колебаний и фундаментов. Возможно также химическое закрепление песков основания.

Например, с целью снижения стоимости дорожного строительства широкое применение для замены прочных каменных материалов находят закрепленные грунты, а именно грунто-силикаты, гидрофобизированный грунтоцемент, грунтоизвесть с добавками ПАВ, молотые граншлаки, золы и шлаки и др. Оптимальные дозировки вносимых в грунт материалов приводят к получению конкретных прочностных и других свойств, начальные характеристики которых обычно принято считать постоянными [13–16].

Установлено, что значительным резервом повышения качества закрепленных грунтов является изменение режимов взаимодействия «усилие–среда». Достижение более высоких прочностных и других физико-механических показателей одного и того же грунта возможно не только за счет увеличения дозировок стабилизирующего вещества, но и изменения способа уплотнения. Установлено, что по сравнению с уплотнением различных составов закрепляемого цементом грунта давлением до 20–50 кгс/см<sup>2</sup>

эквивалентным давлением опрессовки до  $600 \text{ кг/см}^2$  можно до 4-х раз увеличить прочность и морозостойкость грунтоцементов (рис. 2).

В грунт – пылеватый лёссовидный суглинок вводилось до 15 % по весу портландцемента М200. После опрессовки образцы при атмосферном давлении пропаривали до  $90^\circ$  на протяжении 6 часов, а затем испытывали на прочность и морозоустойчивость. Уплотнение грунтоцементов производили при экспериментально установленной влажности смеси.

Характер уплотняемости грунтоцементов с поверхностно-активными микродобавками под воздействием различных давлений опрессовки не отличался от характера уплотнения «чистых» грунтов и «чистых» грунтоцементов; по мере

повышения давлений у всех исследуемых составов максимальная плотность повышается, а оптимальная влажность уменьшается.

Наиболее интенсивно прочность образцов растет при повышении давления опрессовки до  $100 \text{ кгс/см}^2$ , а при дальнейшем росте давления она уменьшается только на 10–15 %, однако остаточная прочность (до 30 циклов) по мере повышения давления опрессовки повышается.

Также установлено, что при уплотнении одного и того же состава грунтосиликата вибрацией достигается более высокая прочность материала ( $270 \text{ кгс/см}^2$ ), чем при уплотнении пресованием, а при уплотнении трамбованием – более высокая прочность, чем при вибрации. В первом случае  $270 \text{ кгс/см}^2$ , во втором –  $320 \text{ кгс/см}^2$  и в третьем –  $370 \text{ кгс/см}^2$ .

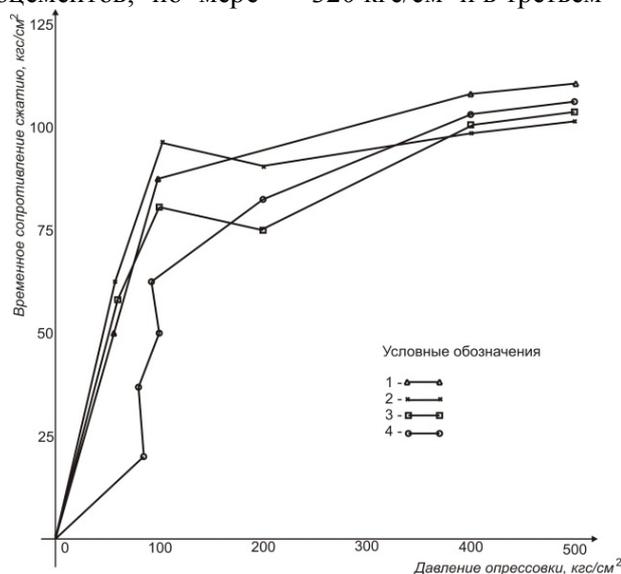


Рис. 2. Зависимость прочности закрепленного связного грунта на сжатие от величины давления опрессовки:  
 1 — 15% цем.+0,2% ССБ; 2 — 15% цем. +1,2 CaCl<sub>2</sub>; 3 — 15% цем. + 0,05% винсола;  
 4 — 15% цем. + 2,5% гидроцемента

В связи с изложенным значительный практический интерес представляет использование «чистых» грунтов или обработка различных закрепляемых грунтов энергией взрыва в качестве более мощного источника мгновенного приложения к среде сверхвысоких давлений (до 200 тыс. атм.) и температур до  $5000^\circ\text{C}$ . При этом два основных случая взаимодействия «среда–взрыв» принципиально отличаются друг от друга в зависимости от фазового состояния уплотняемой среды: гидродинамическое взаимодействие при двухфазной системе среды (твердая и жидкая не более 0,030–0,005 захваченного воздуха); вязко-пластично-упругое взаимодействие при трехфазной системе среды (твердая, жидкая и газообразная).

Представленные результаты выявлены воздействием на песчаные грунты, имеющие рыхлое и естественное сложение, ударных, вибрацион-

ных и взрывных нагрузок. Поведение песков, уплотненных до требуемых норм, находящихся в течение длительного периода в водонасыщенном состоянии, в условиях воздействия многократных нагрузок, с параметрами близкими к реально действующим в основании, определяет один из критериев – сдвигоустойчивость, соблюдение которого обеспечивает работу конструкции без накопления остаточных деформаций, вызванных пластическими смещениями в грунте [14–16].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.
2. Вялов С.С., Городецкий С.Э., Ермаков В.Ф., Зацарная А.Г., Пекарская Н. К. Методика определения характеристик ползучести, дли-

тельной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов. М.: Наука, 1966. 132 с.

3. Багдасаров Ю.А., Валеев Р.Х., Крутов В.И., Виниковский М.И. Пути повышения экономической эффективности устройства оснований и фундаментов на просадочных грунтах с I типом по просадочности // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1979. № 5. С. 3–5.

4. Вронский А.В. Влияние характера изменения жесткости основания по длине зданий на напряженное состояние их конструкций // Основания, фундаменты и подземные сооружения. 1970. № 59. С. 30–32.

5. Литвинов И.М. Глубинное уплотнение просадочных грунтов. Киев: Будівельник, 1969. 184 с.

6. Соколович В.Е. Новое в химическом закреплении грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1971. № 2. С. 5–7.

7. Воронкевич С. Д., Емельянов С. Н., Зархин Б. М., Ларионова Н.А. Результаты натурных опытов по закреплению лессовых грунтов повышенной влажности // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении. М.: Стройиздат, 1987. Т.1. С. 255–256.

8. Выскребенцев В.С., Черныш А.С. Об уплотнении структурно-неустойчивых грунтов тяжёлыми трамбовками // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2015. №3. С. 26–30.

9. Выскребенцев В.С. О применении грунтовых подушек на слабых грунтах оснований

инженерных сооружений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова 2015. №3. С. 16–20.

10. Черныш А.С. К вопросу оценки устойчивости откосов сложенных просадочными грунтами при динамических воздействиях и увлажнении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2015. № 6. С. 27–30.

11. Потапов, А. Д., Платов А. Д., Лебедева М.Д. Песчаные грунты. М.: Изд-во АСВ, 2009. 254 с.

12. Строительство на слабых водонасыщенных грунтах // Материалы Всесоюзного совещания. Одесса, 1975.

13. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*/ Минрегион России. 2011.

14. Усманов Р.А. Слабые водонасыщенные грунты, образованные обводнением лессов, как основания сооружений в условиях Республики Таджикистан: дис.... докт. техн. наук. М.. 2009. 252 с.

15. Соболев Е.С. Ползучесть и виброползучесть песчаных грунтов оснований зданий и сооружений: дис.... канд. техн. наук. М.. 2014. 150 с.

16. Тер-Мартirosян А. З. Взаимодействие фундаментов с основанием при циклических и вибрационных воздействиях с учетом реологических свойств грунтов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 190 с.

---

**Chernysh A.S., Chernysh N.D.**

**FORMATION OF HIGH-QUALITY URBAN WEDNESDAY, TAKING INTO ACCOUNT THE CONDITIONS OF DEFORMATION OF SOIL FOUNDATION**

*In the article questions of deformation reasons elements constituting the City Wednesday, inter alia, vibration and vibropolzuchesti saturated sandy soils. An analysis of the methods of fixing soils, increase the sustainability of buildings and structures. This is especially true now, when the construction of buildings and structures increases the load on vibration caused by heavy traffic while increasing mass of buildings and, accordingly, the loads on the base.*

**Key words:** *City Wednesday, deformation, sand grounds, vibration, vibropolzuchest'.*

---

**Черныш Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой городского кадастра и инженерных изысканий.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: gkadastr@mail.ru

**Черныш Надежда Дмитриевна**, доцент кафедры архитектурных конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: chernysh-nadejda@yandex.ru