



Construction
of Unique Buildings
and Structures
unistroy.spb.ru
#7 (22) ISSN 2304-6295

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Строительство
уникальных зданий
и сооружений
unistroy.spb.ru
#7 (22) ISSN 2304-6295

Влияние вибродинамического воздействия на повышение осадок предварительно уплотненных лессовых водонасыщенных оснований

О.П. Минаев¹, Р.А. Усманов²

¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

²ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Информация о статье

УДК 624.138.29

Научная статья

История

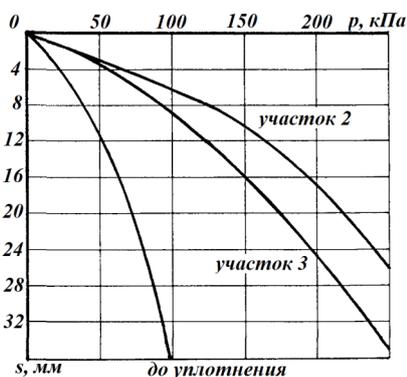
Подана в редакцию 8 июня 2014

Принята 11 июля 2014

Ключевые слова

лессовые грунты, подтопление территорий, водонасыщенные грунты, статические и имитирующие сейсмические нагрузки, вертикальные песчаные дрены, уплотнение грунтов, осадки, деформации основания по глубине, характеристики грунтов, взрывной метод уплотнения

АННОТАЦИЯ



Взрывной метод уплотнения лессовых грунтов при их водонасыщении является действенным приемом улучшения физико-механических свойств оснований. В статье приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию вибродинамических воздействий на повышение эффективности уплотнения водонасыщенных лессовых грунтов с использованием вертикальных песчаных дрен, которые свидетельствуют о перспективах использования взрывного метода уплотнения в сочетании с устройством дрен в грунтах основания. Данные результаты исследований открывают широкие перспективы сочетания вибродинамических методов уплотнения с устройством дрен в грунтах основания для ускорения процесса консолидации грунтов и повышения качества уплотнения оснований.

Содержание

1.	Введение	117
2.	Постановка задачи	117
3.	Методика проведения исследований	118
4.	Результаты полевых исследований	120
5.	Выводы	122

1

Контактный автор:

+7 (921) 741 1535, minaev.op@bk.ru (Минаев Олег Петрович, к.т.н., докторант)

2

+7 (906) 270 8475, minaev.op@bk.ru (Усманов Рустам Алимджанович, д.т.н., профессор)

1. Введение

Взрывной метод уплотнения водонасыщенных грунтов является эффективным приемом улучшения физико-механических свойств оснований [1-12].

Уплотнение грунтов позволяет существенно увеличить несущую способность, уменьшить осадку основания и крутизну откосов грунтовых сооружений, сократить фильтрацию как в пределах всего сооружения, так и через отдельные его элементы, обеспечить устойчивость структуры грунтов при воздействии динамических (сейсмических, волновых, фильтрационных и т.п.) нагрузок и т.д., тем самым, повысить надежность и экономичность сооружений [13-20].

В России наибольшие области залегания лессовых грунтов расположены в Сибири, в Ставропольском крае и Республике Чечня.

Родоначальником взрывного метода уплотнения просадочных лессовых грунтов оснований является Литвинов И.М. В 1964 году он впервые использовал глубинные взрывы для уплотнения предварительно насыщенных водой лессовых просадочных грунтов. По разработкам Литвинова И.М. были уплотнены большие объемы лессовых просадочных грунтов оснований на многочисленных объектах на Украине, а также в России на территории Чеченской республики при строительстве Грозненского газоперерабатывающего завода и других площадках строительства, в том числе за рубежом, в частности в Румынии [21-27].

Анализ данных разработок показывает, что при этом способе уплотнении возможно производить уплотнение лессовых грунтов на глубину 10- 30 м (и более) путем предварительного замачивания до предельного с неустойчивым их состоянием и взрывного метода уплотнения. После замачивания и взрывного уплотнения при многократном вибродинамическом воздействии волн деформаций с интервалом между взрывами зарядов в несколько секунд осадки грунтов основания достигают величин 1- 2.5 м в зависимости от мощности уплотняемой толщи, что составляет не менее 10 -15% мощности уплотняемой толщи. При этом осадка поверхности грунта на уплотняемых участках происходит в течение сравнительно короткого промежутка времени, исчисляемого несколькими часами.

Известные разработки были развиты Аскарковым Х.А. и Ядгаровым З.Х. , которые впервые в 1965-1967 гг. применили метод подводных взрывов, Тахировым И.Г. , Рузиевым А.Р. и Усмановым Р.А. , Мусаэляном А.А., Вильфендом А.Г. для уплотнения таких грунтов в Таджикистане и Узбекистане [28].

В настоящее время актуальность данного вопроса не ослабевает. При этом возможности взрывного метода уплотнения лессовых грунтов могут быть существенно расширены в связи с новыми разработками по дренированию грунтов оснований песчаными или ленточными дренами, ускоряющих процесс их консолидации, что в сочетании со взрывным методом уплотнения позволит повысить эффект взрывного метода уплотнения лессовых оснований

В статье представлены методика и результаты сравнительных экспериментальных исследований по уплотнению водонасыщенных лессовых грунтов статической пригрузкой от веса искусственной насыпи и сейсмозврывным воздействием при устройстве вертикальных песчаных дрен в грунтах основания, проведенных на экспериментальной площадке в Республике Таджикистан. Данные результаты исследований открывают широкие перспективы сочетания взрывного метода уплотнения с устройством дрен в грунтах для повышения эффективности уплотнения оснований.

2. Постановка задачи

В сейсмически активных регионах Республики Таджикистан в результате влияния комплекса природных и техногенных факторов происходит подтопление обширных территорий, сложенных большими толщами ранее маловлажных лессовых грунтов ($H_{sl} = 15 - 25$ м). Вследствие значительного подъема уровня подземных вод лессовые грунты переходят в категорию слабых и сильносжимаемых, их физико-механические свойства значительно ухудшаются не превышая предельных значений при $S_r > 0,8$; равных $I_L \geq 0,8 \dots 1,0$; $R \leq 80 \dots 100$ кПа; $E \leq 2 \dots 3,0$ МПа). Кроме того, процессы подтопления и обводнения способствуют повышению интенсивности сейсмических воздействий осваиваемых территорий на 1-2 балла. Проектирование, строительство и надежная эксплуатация зданий и сооружений в этих условиях связано, прежде всего, с применением различных искусственных методов уплотнения и закрепления грунтов.

Существующий опыт показывает, что одним из эффективных методов, а иногда и единственно возможным (при толщине слабого слоя грунта более 15 м и показателе текучести $I_L \geq 1,0$), является уплотнение толщии слабых водонасыщенных лессовых грунтов вертикальными песчаными дренами с пригрузкой территории весом насыпи. Однако отсутствие каких-либо исследований и опыта применения ограничивает область применения этого метода в грунтовых условиях Республики Таджикистан. В связи с этим были проведены натурные экспериментальные исследования по устройству и уплотнению слабых водонасыщенных лессовых грунтов Центрально-Азиатского региона с помощью вертикальных песчаных дрен диаметром 400 мм.

Целью, проведенных исследований, являлось комплексное изучение закономерностей уплотнения слабых водонасыщенных лессовых грунтов вертикальными песчаными дренами при статических и дополнительных сейсмозрывных воздействиях и разработка рекомендаций по их применению в условиях Республики Таджикистан для некоторых типов зданий.

3. Методика проведения исследований

Исследования проводились на экспериментальном участке, где уровень подземных вод располагался на глубине 1,5 м от дневной поверхности, ниже которой на глубину более 16 м грунты представлены водонасыщенными лессовыми суглинками текучепластичной консистенции ($S_r = 0,96$, $I_L = 0,80$, $\varphi = 17^\circ$, $c = 20$ кПа).

С целью определения несущей способности и деформационных характеристик грунтов участка до уплотнения были проведены статические испытания по стандартной методике с помощью круглых жестких штампов площадью $A = 10000 \text{ см}^2$ ($d_{\text{ш}} = 1,13$ м), установленных в котловане непосредственно на отметке УПВ. По результатам испытаний расчетное сопротивление грунтов основания не превышает $R = 80 \dots 90$ кПа, а модуль деформации грунтов составил $E = 2,0 \dots 2,7$ МПа. Для изучения фильтрационных и консолидационных свойств грунтов в лабораторных условиях был определен коэффициент консолидации по методу Тейлора, величина которого при давлении $p = 75$ кПа составила $C_v = 22 \times 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сек}$.

Аналогичные штамповые испытания были проведены и после завершения исследований по уплотнению лессовых водонасыщенных грунтов статической пригрузкой с помощью песчаных дрен. Кроме того, после завершения такого уплотнения осуществлялось статическое зондирование грунтов оснований.

На экспериментальной площадке были подготовлены три рядом расположенных участка с размерами в плане 10 x 30 м каждая. Первоначально поверхность участков была перекрыта песчаной подушкой толщиной слоя 0,5 м из крупного песка (см. рисунок 1).

Для определения эффективности уплотнения грунтов статической пригрузкой, в том числе при различном шаге размещения песчаных дрен, первый участок был подготовлен без устройства песчаных дрен, а на втором и третьем участке песчаные дренаы были устроены по сетке 2,0 x 2,0 м и 3,0 x 3,0 м соответственно.

Вертикальные песчаные дренаы были устроены диаметром $d = 400$ мм на глубину $H = 6,0$ м от поверхности (см. рисунок 2).

Перед началом устройства насыпи были пронивелированы поверхностные и глубинные марки относительно неподвижного репера. Пригрузка территории была произведена послойно с увеличением отметки и соответственно веса насыпи, после гарантированного затухания осадок реперов от предыдущего этапа ее наращивания. В качестве материала насыпи были использованы гравийно-галечниковые и суглинистые грунты плотностью $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$. Общая нагрузка на основание составила $p = 75$ кПа. После завершения экспериментальных исследований по уплотнению слабых грунтов статическими нагрузками были проведены исследования особенностей работы песчаных дрен при сейсмических нагрузках.

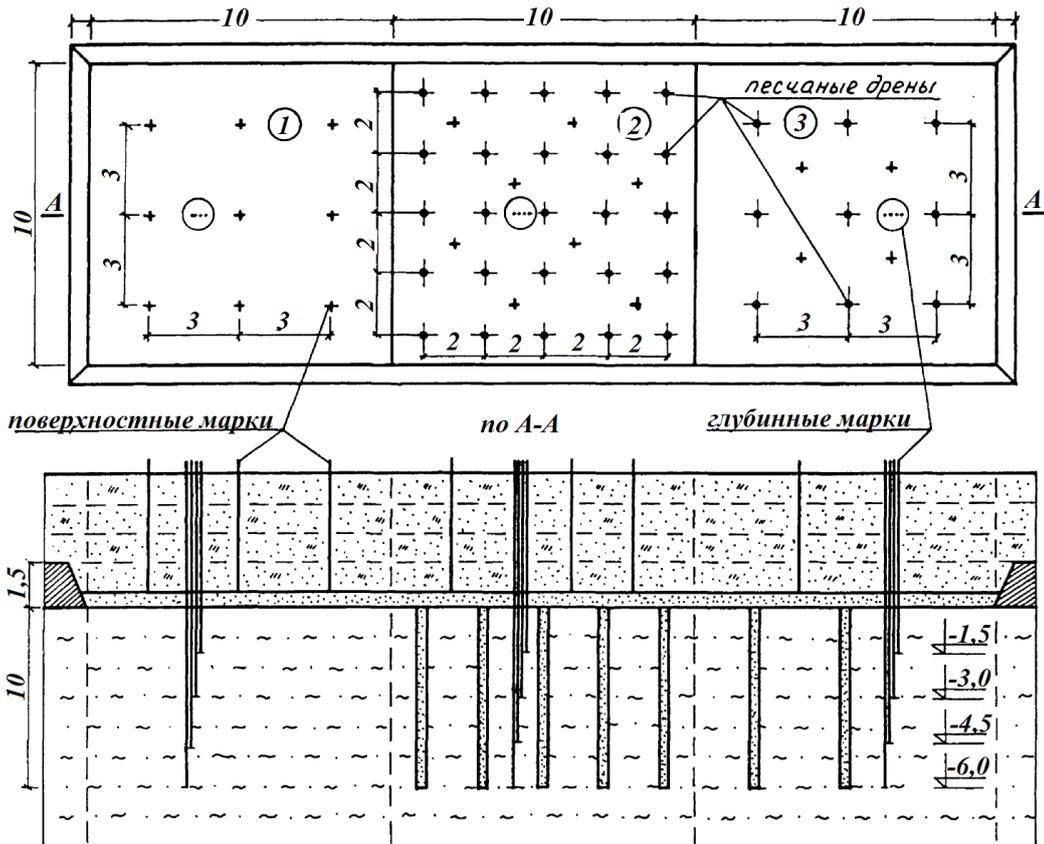
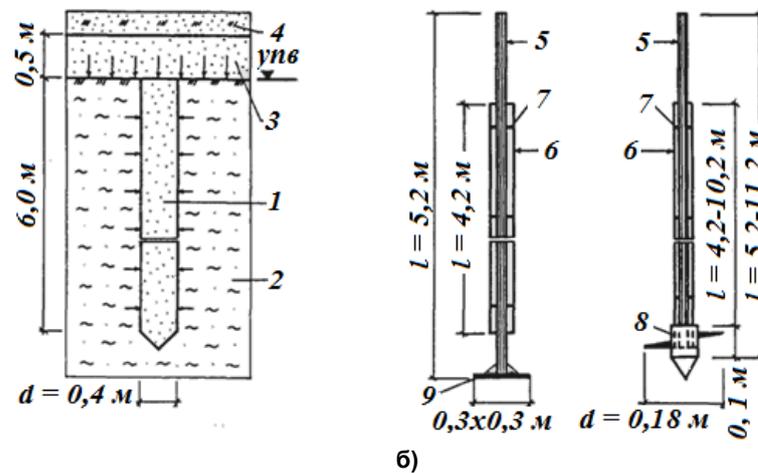


Рисунок 1. План и продольный разрез экспериментального участка: 1-участок без дрен, 2,3-участки с песчаными дренами с шагом устройства по сетке 2.0x2.0 и 3.0x3.0 м



а)

б)

Рисунок 2. Схема песчаной дрены (а) и конструкция поверхностных и глубинных марок (б). Обозначения на рисунке: 1-песчаная дрена, 2-уплотняемый грунт, 3-песчаная подушка, 4-пригрузка, 5,6-внутренняя и наружная штанги, 7-фтулка, 8-наконечник, 9-опорная пята

Имитация сейсмических воздействий была осуществлена короткозамедленными взрывами глубинных камуфлетных зарядов взрывчатых веществ (ВВ), установленных в три ряда на глубине 6...8 м от поверхности основания, на расстоянии от 15 до 25 м от испытываемой площадки. В проведенных экспериментах расчетная интенсивность сейсмического воздействия составляла 8...9 баллов по шкале MSK-64.

4. Результаты полевых исследований

Полученные результаты экспериментальных свидетельствовали об эффективности применения вертикальных песчаных дрен для уплотнения оснований, сложенных водонасыщенными лессовыми грунтами, с помощью статической пригрузки от веса насыпи даже при относительно небольших величинах действующих давлений. Приведенные на рисунке 3 зависимости осадки основания s от действующего давления p и времени уплотнения T , показывают, что осадки основания увеличились с 11 мм на участке без дрен до 60 и 74 мм на дренированных участках. При этом, наибольший эффект уплотнения зафиксирован на участке №2, на котором песчаные дренажи были расположены по сетке с шагом 2,0 x 2,0 м.

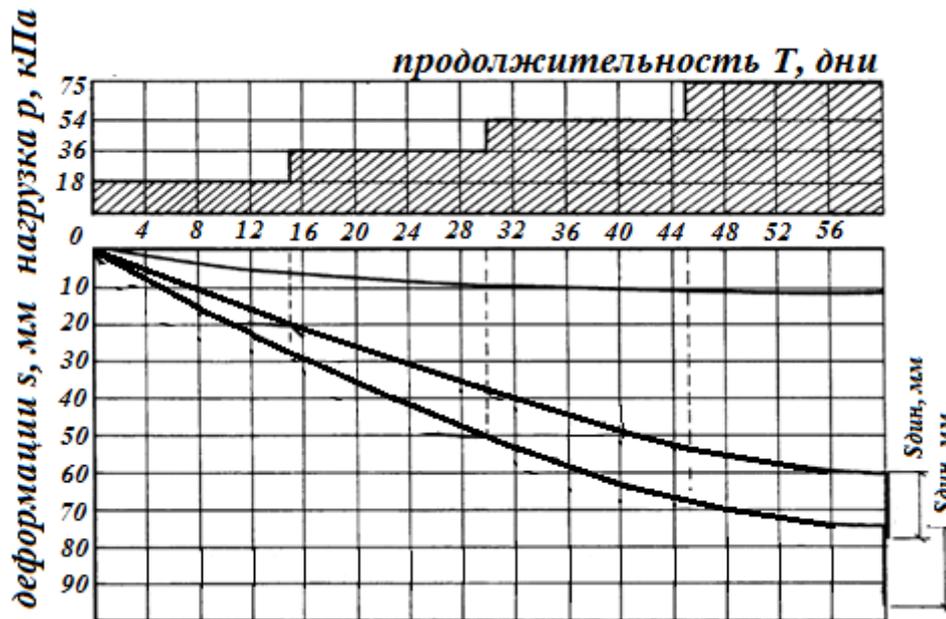


Рисунок 3. Развитие деформаций осадок экспериментальных участков во времени: верхний график для участка без дрен, два нижних – соответственно, при устройстве песчаных дрен с шагом по сетке 3.0x3.0 м и 2.0x2.0 м. На рисунке показан прирост осадок в результате взрывов, имитирующих один цикл сейсмического воздействия

Результатами наблюдений за поверхностными реперами также было установлено, что прирост осадки происходит после приложения каждой ступени нагрузки от веса насыпи, уменьшаясь с ростом нагрузки; причем основная часть деформаций происходит впервые 5...6 дней после приложения каждой ступени нагрузки.

Характер развития послойных и относительных деформаций грунтов по глубине основания на участке № 2, приведенный на рис. 4, свидетельствует о том, что основная часть деформаций происходит на глубине до - 3,0 м, на которой зафиксировано более 70% общей осадки. При этом на глубине 1,5 м от поверхности лессовых грунтов происходит более 50% их величины, а глубинная марка, расположенная на отметке - 6,0 м практически не перемещалась.

Анализ послойных перемещений по глубине уплотняемой толщи показывает, что максимальные деформации исследуемых лессовых грунтов внешней статической нагрузкой могут

достигать величин порядка 2.5 % от сжимаемой толщи основания, Очевидно, и то обстоятельство, что максимальная величина сжимаемой толщи не превышала в данном случае глубину устройства песчаных дрен.

Обобщенные результаты штамповых испытаний, проведенных после завершения исследований по уплотнению лессовых водонасыщенных грунтов статической пригрузкой путем устройства песчаных дрен, представлены на рис. 5. Для сравнения, там же приведены результаты испытаний грунтов природного сложения (при отсутствии песчаных дрен).

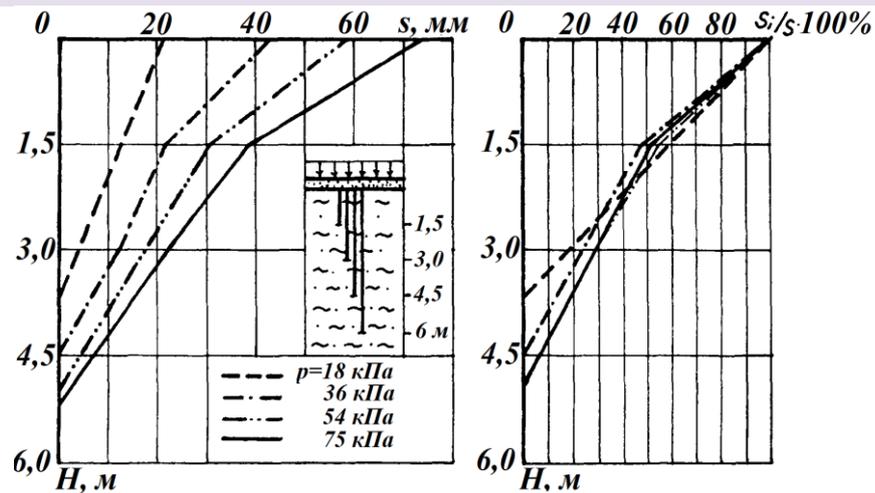


Рисунок 4. Развитие послойных и относительных деформаций грунтов по глубине основания: слева - прирост деформаций с увеличением статической нагрузки от веса насыпи от 18 до 75 кПа, справа-то же, для относительных деформаций

Как видно из рисунка 5, после уплотнения значения расчетного сопротивления лессовых грунтов на уплотненных участках повысились до $R = 200...250$ кПа, что в 2,2...3,0 раз превышает эти значения до уплотнения. При этом значения модуля деформации уплотненных грунтов повысились в 2,5...4 раза. По результатам статического зондирования уплотненных грунтов величина удельного сцепления лессовых грунтов увеличилась в 1,6...2,0 раза.

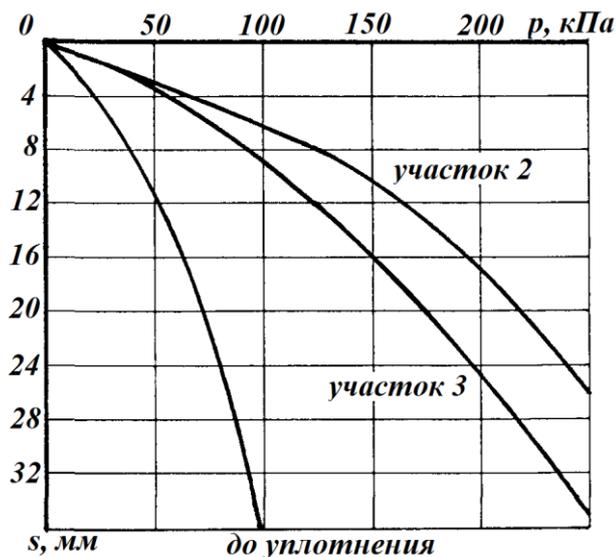


Рисунок 5. Результаты статических испытаний уплотненных оснований: участок №1-до уплотнения с применением дрен, участок №2 и №3-при устройстве песчаных дрен

При сейсмозрывных воздействиях, вызванных пробными взрывами единичных зарядов, было установлено развитие дополнительных деформаций уплотняемой толщи. Результаты фиксации окончательных осадок основания (см. рисунок 3), показывают, что их величины составили 25 - 30% от общей осадки. Дополнительное уплотнение при сейсмозрывном воздействии связано с резким повышением избыточного гидродинамического давления в поровой воде, которое способствует ускорению процесса консолидации и дополнительному отжатию поровой воды в тело песчаных дрен.

5. Выводы

1. Известный опыт уплотнения лессовых грунтов оснований свидетельствует об эффективности их уплотнения при насыщении водой и применении взрывного метода уплотнения.

2. Как показали результаты экспериментальных исследований, предпостроечное уплотнение толщи слабых водонасыщенных лессовых грунтов с помощью вертикальных песчаных дрен и статической пригрузки от веса насыпи высотой 4.0 м, соответствующей внешнему давлению, равному около 75 кПа, способствует увеличению величины расчетного сопротивления грунтов основания более, чем в 2 раз, модуля деформации в 2,5...4 раз, удельного сцепления в 1,6...2,0 раз в пределах верхней сжимаемой толщи основания

3. Однако при этом последующие даже единичные сейсмозрывные воздействия способствуют развитию дополнительных деформаций уплотняемой толщи в размере 25-30 % в пределах этой толщи, что связано со значительным повышением избыточного гидродинамического давления в поровой воде грунтов основания.

4. Проведенные исследования указывают на эффективность использования энергии взрывов зарядов ВВ для ускорения процесса консолидации и повышения качества уплотнения толщи слабых водонасыщенных лессовых грунтов при использовании вертикальных песчаных дрен, которые могут устранить просадочные свойства таких грунтов, увеличить их осадку не менее, чем на 10-15% по всей глубине их залегания и, тем самым, обеспечить существенное увеличение физико-механических характеристик грунтов оснований.

5. Осуществление взрывного метода уплотнения должно производиться специализированными организациями, имеющими лицензию на данный вид работ. При этом приоритет следует отдавать военным частям, периодически производящих пустые затратные работы по уничтожению взрывчатых веществ, отслуживших гарантированный срок хранения.

Литература

1. Florin V.A., Ivanov P.L. Liquefaction of Saturated Sandy Soils (1961) Proceedings of the Y International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 1. Pp. 182-186.
2. Ivanov P.L. Compaction of Cohesionless Soils by Explosives (1966) Proceedings of the YI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal. Vol. 3. Pp. 352-354.
3. Ivanov P.L., Krasnikov N.D. Charge Explosion Sounding of Saturated Cohesionless Soils (1978) YI Symposium on Earthquake Engineering: University of Roorkee. Vol. 1. Pp. 151-156.
4. Иванов П.Л. Уплотнение несвязных грунтов взрывами. – М.: Недра, 1983. – 230 с.
5. Dembicki E., Kisielowa N., Nowakowski N. [et. al.] (1980) Dynamic Consolidation of Mud Soils by Means of Blasting Changes (1980) International Conference on Compaction, Paris, 1, pp. 295-299.
6. Dembicki, E., Kisielowa, N., Nowakowski, H., Osiecimski, R. Compaction of Sandy Marine Subsoils by Means of Blasting. International Conference on Compaction, Paris. Vol. 1. Pp. 301-305.
7. Seed H.B., Idriss I.M. (1982) Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Monograph. USA, Oakland, C.A.: Earthquake Engineering Research Institute, 320 p.
8. Seed H.B., Idriss I.M. (1971) Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Soil Mechanics and Foundation Division, 97 (SM9), Pp. 1249-1273.
9. Minaev O.P. (1993) Effective methods of compaction of water-saturated soils by blasting. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol 30. Issue 2. Pp. 53-56.
10. Minaev O.P., Savinov O.A. (1990) Prospect for the use heavy-duty dual-mass tampers for the compaction of soils. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1990. Vol. 27. Issue 4. Pp. 145 -150.
11. Minaev O.P. (2011) Development of vibratory method for soil compaction during construction. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 48. Issue 5. Pp. 190-195.
12. Минаев, О.П. Разработка динамических методов глубинного уплотнения слабосвязных грунтов оснований // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013. № 6. С. 21-23.
13. Idriss I.M., Boulanger R.W. (2008) Soil liquefaction during earthquakes. USA, California: EERI, 2008, 240 p.
14. Ishihara, K. Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics. Monograph. USA, Oxford, Clarendon Press: Department of Civil.: Engineering Science University of Tokyo, 2006, 384 с.
15. Ishihara K. (2009). New challenges in Geotechnique for ground hazards due to intensely strong earthquake shaking. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. Issue 11. Pp. 91-114.
16. Tsukamoto Y., Ishihara K. (2010) Analysis on settlement of soil deposits following liquefaction during earthquakes. Soils and Foundations. 2010. Vol. 50. Issue 3. Pp. 399-441.
17. Ishihara K., Araki K., Toshiyuki K. (2014) Liquefaction in Tokyo Bay and Kanto Regions in the 2011 Great East Japan Earthquake. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. Issue 28. Pp. 93-140.
18. Ilichev V.A., Stavnitser L.R., Shiskin V.Ya. (1995). Reduction of foundation vibration after bed strengthening with cast-in-place sand (1995) Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 32. Issue 3. Pp. 92-94.
19. Stavnitser L.R. (1992) Prediction of accumulation of seismic deformation of bases. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 29. Issue 6. Pp. 187-191.
20. Uzdin A.M., Belash T.A., Blekhman I.I. (2011) On the heritage of Professor O. A. Savinov. Soil Mechanics and Foundation Engineering Vol. 48. Issue 5. Pp. 182–189.
21. Litvinov I.M. (1966) Accelerated method of deep compaction of slumping loess soils of the II type by preliminary flooding and directed explosions. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 3. Issue 2. Pp.116-121.
22. Litvinov I.M. (1967) Changes in the properties of settled loessial soils with depth after compaction of the soils by wetting and the effects of blasting. Soil Mechanics and Foundation Engineering Vol. 6. Issue 4. Pp. 419-421.
23. Litvinov I.M. (1968). Deep compaction of soils prone to slump-type settlement by means of explosion energy. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 6. Issue 5. Pp. 432-436.
24. Litvinov I.M. (1969). Conduction of blasting works for deep compaction of slump-prone loess soils in a built-up area Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 4. Issue 6. Pp. 272-277.

25. Litvinov I.M. (1975) Conduction of blasting works for deep compaction of slump-prone loess soils in a built-up area Soil Mechanics and Foundation Engineering Vol. 12. Issue 2. Pp. 81-85.
26. Litvinov I.M. (1976) Experience in compacting slump-prone soils by hydroblasting at the construction of a large industrial complex. Soil Mechanics and Foundation Engineering Vol.13. Issue 4. Pp. 235-239.
27. Roasting loess soils to a depth of 25 m (1979) / Litvinov, I.M., Tregub, A.S., Stepura, I.V., Tyan, R.B. Soil Mechanics and Foundation Engineering Vol. 16. Issue 3. Pp. 124-128.
28. Ruziev A.R., Usmanov R.A. (1991) Experience with the compaction of soils prone to slump-type settlement by the hydraulic-blasting method in complex terrain. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 28. Issue 1. Pp. 24-27.

The influence of dynamic vibration impact on improving the sediment pre-compacted loess saturated grounds

O.P. Minaev¹, R.A. Usmanov²

¹Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

²“Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4, 190005 St. Petersburg, Russia.

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

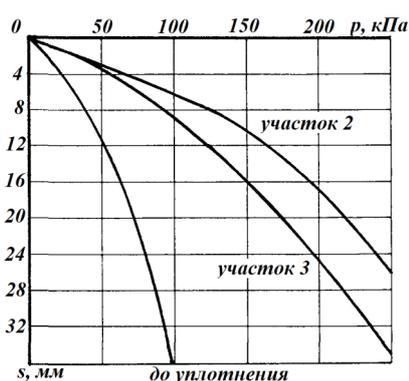
Received 8 June 2014
Accepted 11 July 2014

Keywords

loess soils,
elevated groundwater levels,
water-saturated soils,
static and simulate seismic loads,
vertical sand drains,
soil compaction,
precipitation,
Foundation deformations in depth,
soil characteristics,
explosive method of compaction.

ABSTRACT

Explosive method of compaction loess soils with their videosystem is an effective method of improving the physical and mechanical properties of grounds. The article contains the results of experimental research on the influence of dynamic vibration impacts on the efficiency of the seals loess soils saturated with the use of vertical sand drains, which testify to the prospects of the use of explosive method seals in combination with the device of drains in the Foundation soil. These findings open the perspectives of a combination of dynamic vibration methods seal with the device of drains in the soils of the basis for acceleration of process of consolidation of soils and improvement of the quality seal of the grounds.



1

Corresponding author:

+7 (921) 741 1535, minaev.op@bk.ru (Oleg Petrovich Minaev, Ph. D., Doctoral candidate)

2

+7 (906) 270 8475, minaev.op@bk.ru (Rustam Alimdzhonovich Usmanov, D.Sc., Professor)

References

1. Florin V.A., Ivanov P.L. Liquefaction of Saturated Sandy Soils (1961) Proceedings of the Y International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 1. Pp. 182-186.
2. Ivanov P.L. Compaction of Cohesionless Soils by Explosives (1966) Proceedings of the YI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal. Vol. 3. Pp. 352-354.
3. Ivanov P.L., Krasnikov N.D. Charge Explosion Sounding of Saturated Cohesionless Soils (1978) YI Symposium on Earthquake Engineering: University of Roorkee. Vol. 1. Pp. 151-156.
4. Ivanov P.L. (1983) Seal loose soils explosions. - М.: Nedra, 1983 - 230 p (rus).
5. Dembicki E., Kisielowa N., Nowakowski N. [et. al.] (1980) Dynamic Consolidation of Mud Soils by Means of Blasting Changes (1980) International Conference on Compaction, Paris, 1, pp. 295-299.
6. Dembicki, E., Kisielowa, N., Nowakowski, H., Osiecimski, R. Compaction of Sandy Marine Subsoils by Means of Blasting. International Conference on Compaction, Paris. Vol. 1. Pp. 301-305.
7. Seed H.B., Idriss I.M. (1982) Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Monograph. USA, Oakland, C.A.: Earthquake Engineering Research Institute, 320 p.
8. Seed H.B., Idriss I.M. (1971) Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Soil Mechanics and Foundation Division, 97 (SM9), Pp. 1249-1273.
9. Minaev O.P. (1993) Effective methods of compaction of water-saturated soils by blasting. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol 30. Issue 2. Pp. 53-56.
10. Minaev O.P., Savinov O.A. (1990) Prospect for the use heavy-duty dual-mass tampers for the compaction of soils. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1990. Vol. 27. Issue 4. Pp. 145 -150.
11. Minaev O.P. (2011) Development of vibratory method for soil compaction during construction. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 48. Issue 5. Pp. 190-195.
12. Minaev O.P. (2013) Dynamic deep compaction methods weakly cohesive foundation soils. Basis, foundations and soil mechanics. 2013. Issue 6. Pp. 21-23. (rus)
13. Idriss I.M., Boulanger R.W. (2008) Soil liquefaction during earthquakes. USA, California: EERI, 2008, 240 p.
14. Ishihara, K. Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics. Monograph. USA, Oxford, Clarendon Press: Department of Civil.: Engineering Science University of Tokyo, 2006, 384 c.
15. Ishihara K. (2009). New challenges in Geotechnique for ground hazards due to intensely strong earthquake shaking. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. Issue 11. Pp. 91-114.
16. Tsukamoto Y., Ishihara K. (2010) Analysis on settlement of soil deposits following liquefaction during earthquakes. Soils and Foundations. 2010. Vol. 50. Issue 3. Pp. 399-441.
17. Ishihara K., Araki K., Toshiyuki K. (2014) Liquefaction in Tokyo Bay and Kanto Regions in the 2011 Great East Japan Earthquake. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. Issue 28. Pp. 93-140.
18. Ilchev V.A., Stavnitser L.R., Shiskin V.Ya. (1995). Reduction of foundation vibration after bed strengthening with cast-in-place sand (1995) Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 32. Issue 3. Pp. 92-94.
19. Stavnitser L.R. (1992) Prediction of accumulation of seismic deformation of bases. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 29. Issue 6. Pp. 187-191.
20. Uzdin A.M., Belash T.A., Blekhan I.I. (2011) On the heritage of Professor O. A. Savinov. Soil Mechanics and Foundation Engineering Vol. 48. Issue 5. Pp. 182-189.
21. Litvinov I.M. (1966) Accelerated method of deep compaction of slumping loess soils of the II type by preliminary flooding and directed explosions. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 3. Issue 2. Pp. 116-121.
22. Litvinov I.M. (1967) Changes in the properties of settled loessial soils with depth after compaction of the soils by wetting and the effects of blasting. Soil Mechanics and Foundation Engineering Vol. 6. Issue 4. Pp. 419-421.
23. Litvinov I.M. (1968). Deep compaction of soils prone to slump-type settlement by means of explosion energy. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 6. Issue 5. Pp. 432-436.
24. Litvinov I.M. (1969). Conduction of blasting works for deep compaction of slump-prone loess soils in a built-up area Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 4. Issue 6. Pp. 272-277.
25. Litvinov I.M. (1975) Conduction of blasting works for deep compaction of slump-prone loess soils in a built-up area Soil Mechanics and Foundation Engineering Vol. 12. Issue 2. Pp. 81-85.

26. Litvinov I.M. (1976) Experience in compacting slump-prone soils by hydroblasting at the construction of a large industrial complex. *Soil Mechanics and Foundation Engineering* Vol.13. Issue 4. Pp. 235-239.
27. Roasting loess soils to a depth of 25 m (1979) / Litvinov, I.M., Tregub, A.S., Stepura, I.V., Tyan, R.B. *Soil Mechanics and Foundation Engineering* Vol. 16. Issue 3. Pp. 124-128.
28. Ruziev A.R., Usmanov R.A. (1991) Experience with the compaction of soils prone to slump-type settlement by the hydraulic-blasting method in complex terrain. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Vol. 28. Issue 1. Pp. 24-27.